

NTNU

Kunnskap for en bedre verden

Bacheloroppgave

TN303212 – Hovedprosjekt

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

10002, 10003, 10006, 10014

Totalt antall sider inkludert forsiden: 118

Innlevert Ålesund, 06.06.2017

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. **Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.**

<i>Du/dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6:</i>		
1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none">• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å <u>betrakte som fusk</u> og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høyskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert i Ephorus, se Retningslinjer for elektronisk innlevering og publisering av studiepoenggivende studentoppgaver	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at høgskolen vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter NTNUs studieforskrift.	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider	<input checked="" type="checkbox"/>

Publiseringsavtale

Studiepoeng: 15

Veileder: Hallgeir Giske

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten ([Åndsverkloven §2](#)).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage med forfatter(ne)s godkjenning.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved NTNU i Ålesund en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

ja nei

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

ja nei

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

ja nei

Er oppgaven unntatt offentlighet?

ja nei

(inneholder taushetsbelagt informasjon. [Jfr. Offl. §13/Fvl. §13](#))

Dato: 06.06.2017

Forord

Denne oppgaven er utarbeidet av fire nautikkstudenter ved NTNU i Ålesund, i forbindelse med avslutningen på en treårig bachelorutdanning.

Oppgaven inneholder en del tekniske beskrivelser og detaljer som vil kunne være vanskelig å forstå. Meningen er likevel at alle skal kunne lese oppgaven, og gruppen har derfor fokusert på å gjøre lesbarheten så god som mulig. En liste over terminologier i tillegg til enkelte ord og uttrykk vil også finnes under «Terminologi».

Gruppen ønsker å takke alle involverte som har bidratt med informasjon som har blitt mottatt gjennom, intervju, besøk og e-post korrespondanse. De delene av informasjon som har vært vanskelig å bruke direkte i teksten har likevel lagt et godt grunnlag for videre informasjonsinnsamling samt en økt forståelse for oppgavens tema.

Det rettes en spesiell takk til:

- Eduardo Grimaldo, SINTEF
- Thor Klevjer, Havforskningsinstituttet
- Egil Ona, Havforskningsinstituttet
- Norvald Kjerstad, NTNU i Ålesund
- Hallgeir Giske, Veileder

Sammendrag

Oppgaven omhandler de utfordringene man står ovenfor når man tenker på å etablere et kommersielt fiskeri av mesopelagiske fiskearter som lysprikkfisk og laksesild. Man tenker da på de operasjonelle og teknologiske utfordringene, herunder undervannsakustikk, fangst, etc. Gruppen har funnet en del av de utfordringene man står ovenfor, i tillegg til løsninger på noen av dem. Det er svært mange utfordringer ved denne typen fiskeri. Noen av utfordringene har man per dags dato fortsatt ikke teknologi til å kunne løse. Det ble gjennom oppgaven rettet et spesielt fokus mot tre emner som gruppen anser som spesielt viktige: forekomster av fisk, undervannsakustikk og fangstmetoder. Det blir også tatt for seg utfordringer forbundet med kartlegging og beregning av forekomster av mesopelagisk fisk.

Oppgaven presenterer en del forskningsresultater som gruppen mener er relevant for temaet, og tar for seg hvilke svakheter som finnes med noen av disse. Informasjonen som er presentert i oppgaven har i stor grad blitt innhentet gjennom bedriftsbesøk, intervjuer av personer som jobber innenfor fagfeltet og studie av relevant informasjon fra litteratur og internett.

Det har også vært gruppens hensikt å samle relevant kunnskap, erfaringer og forskning om temaet i et felles dokument som skal gjøre det enklere å sette seg inn i dette temaet, også for lesere som ikke er har kompetanse eller erfaring innenfor et eller flere av fagfeltene som oppgaven omfatter. For å oppnå dette gir oppgaven en grunnleggende introduksjon til relevante emner innen hydroakustikk og fangstmetoder.

Terminologi

Absorpsjon	I akustikk er absorpsjon oppfangningen av lydbølger.
Absorpsjonskoeffisienten (α)	En egenskap hos et stoff (i dette tilfellet vann) som avgjør hvor mye energi (lydbølger) stoffet kan absorbere.
Akvakultur	En virksomhet som på en eller annen måte påvirker organismer i sjø eller ferskvann, før de endelig blir høstet eller fanget. Akvakultur innbefatter intensive og ekstensive kulturer med så vel fisk og skalldyr som alger. Se fiskeoppdrett, skalldyroppdrett og havbruk (Store Norske Leksikon, 2016).
ASDIC	Allied Submarine Detection and Investigation Committee.
Backscatter	Refleksjon av utsendte akustiske bølger, som returneres tilbake til sender/mottaker.
Biomasse	Biomasse, den totale massen (mengden) av alle levende organismer i et område. Biomassen omfatter både produsenter, konsumenter og dekomponenter. Biomassen kan enkelte ganger beregnes som volum. Man kan også snakke om en enkelt arts biomasse, f.eks. menneskepopulasjonens totale biomasse (Store Norske Leksikon, 2009).
Bøting (bøte)	Metode for å sette sammen/reparere masker og nettpanel som følger et fast mønster, for å unngå skjelheter og svake punkt i redskapet (nota).

Chirp	Et signal hvor frekvensen øker (<i>up-chirp</i>) eller avtar (<i>down-chirp</i>) med tid.
dB	Desibel - Beskriver forholdet mellom to størrelser av samme dimensjon. Beskriver lydreduksjon og demping eller forsterking.
Deep Scattering Layer (DSL)	Et lag av signalekko som blir observert av hydroakustiske instrumenter i det mesopelagiske havsjiktet (Irigoien, et al., 2014).
Diel Vertical Migration (DVM)	Vertikal døgnvandring – Fiskens vertikale døgnvandring. Mange av de mesopelagiske fiskeartene foretar store vertikale døgnvandring gjennom både det mesopelagiske og epipelagiske havsjiktet. Videre kategorisering tar utgangspunkt i at normal døgnvandring er ned mot dypet om dagen og opp i vannsøylen om natten (NDVM), og dermed blir invers døgnvandring mot dypet om natten og mot overflaten om dagen (IDVM).
Dopplereffekt	Den tilsynelatende endringen i frekvens eller bølgelengde av en bølge som registreres av en observatør som beveger seg relativt til bølgens kilde.
Ekkolodd	Hydroakustisk system til måling av dybde eller avstand.
Ensilasje	Produkt som lages av råstoff av fisk. Både hel fisk, avkutt og fiskeslo kan brukes til dette. Produktet brukes blant annet til fôr i oppdrettsnæringen.

Epipelagisk	Det pelagiske havsjiktet mellom overflaten og 200 meters dypde blir omtalt som det epipelagiske havsjiktet (Store Norske Leksikon, 2015).
Epipelagisk fisk	Fellesbetegnelse for fisk som primært lever i de frie vannmassene i det epipelagiske havsjiktet.
Eksogen faktor	Påvirkninger som kommer utenfra som forandrer et individs syklus.
FM	Frekvens Modulasjon.
Føde	Defineres som hva en organisme livnærer seg på.
Gain	Justering av mottaker følsomhet (forsterkning).
Grakse	Restene av fiskelever, -kjøtt og -ben etter at tranen eller oljen er utvunnet (Store Norske Leksikon, 2009).
Haling	Beskrivelse av at bruket blir dratt opp fra bunnen eller sjøen.
Hamrer	Bratte sider og «eggkanter» ved havbunnen.
Homogen vannmasse	Vannmasser med stabile eksogene faktorer som temperatur og salinitet.

Hydroakustikk	Teknologi basert på utsending av akustiske signaler gjennom vann og måling av tiden det tar til de reflekterte signalene returnerer og blir oppfattet av en sensor. Ut fra beregningene får man avstand og ut fra signalstyrke/karakteristikk kan man si noe om størrelse på det målte objektet dersom man kjenner til objektets karakteristikk for signalrefleksjon.
IDVM	Invers Vertikal Døgnvandring.
Konsesjon	Konsesjon, innrømmelse, tillatelse, bevilling, særlig en tillatelse av offentlig myndighet som etter lovgivningen er nødvendig for å sette i verk et økonomisk tiltak, f.eks. erverv av fast eiendom eller igangsetting av visse slags næringsvirksomheter (Store Norske Leksikon, 2013).
Kystnær sone	Havområder som måler mindre enn 200 meters dybde.
Lissing	Metode for å lage «leiser» langs trålen som vil styrke og lage et «skjelett» til nota.
Mesopelagisk	Det pelagiske havsjiktet mellom 200 og 1000 meter blir omtalt som det mesopelagiske havsjiktet (Store Norske Leksikon, 2015).
Mesopelagisk fisk	Fellesbetegnelse for fisk som primært lever i de frie vannmassene i det mesopelagiske havsjiktet.
MRU	Motion Reference Unit.

Målstyrke – Target strength (TS)	Hydroakustiske refleksjonsegenskaper for et mål, høy TS gir et tydeligere/kraftigere ekko enn lav TS. Måles i dB.
NDVM	Normal Vertikal Døgnvandring.
NoDVM	Ingen Vertikal Døgnvandring.
Ontogenetic migration	Aldersbasert vertikal vandring. Ulike aldersgrupper av samme art foretrekker gjerne forskjellige dybder.
Oseanisk sone	Havområder som måler 200 meter dybde eller mer (Tyler, 2017).
OVM	Ontogenetisk Vertikal Migrasjon.
Pelagisk	Pelagisk, betegnelse som brukes om det som har med åpne vannmasser å gjøre, til forskjell fra kysten eller havbunnen. Vann i hav eller innsjøer som ikke er nær kyst, strand eller bunn er pelagisk (Store Norske Leksikon, 2015).
Pelagisk fisk	Fellesbetegnelse for fisk som primært lever i pelagiske vannmasser.
Piezoelektrisitet	Et naturfenomen der elektriske ladninger blir produsert ved at et materiale bestående av krystaller blir påført press.
Predator	Defineres som en organisme (predator) som spiser av en annen organisme (føde) (Solheim & Hjermann, 2011).

PRF	Puls Repetisjons Frekvens.
Probe	Svinger (Transducer) (Sender / Mottaker).
Salinitet	Saltinnhold i vann: Mengde oppløst salt i en enhet vann.
Setting	Et uttrykk som brukes når passive-redskap plasseres på bunnen.
Sfærisk spredning	Utsendt lyd brer seg utover i vannet som kulebølger slik at det arealet lydimpulsen dekker, øker med kvadratet av avstanden. Energitettheten (intensiteten) avtar følgelig med kvadratet av avstanden. Dette fenomenet kalles sfærisk spredning.
Sidelober	De delene av en lydstråle som ikke er en del av hovedstrålen.
SNR	Signal Noise Ratio – Signal-/støyforhold.
SONAR	Sound Navigation and Ranging - Hydroakustisk system til måling av dybde eller avstand, opprinnelig utviklet for deteksjon av undervannsbåter, miner og faste gjenstander (Store Norske Leksikon, 2009).
Ståtid	Tiden et passivt redskap befinner seg på bunnen, samt tiden redskapet fangster.
Sveip	Vaier som går fra dørene og bak til selve trålen.
Svinger	Pulserende grenseflate som brukes som sensor og signalkilde for ekkolodd.

SVM	Sesongbasert Vertikal Migrasjon.
Taket	Øvre del av trålnota.
Target-track	En målregistreringsdatabase som loggfører enkelte individers bevegelse.
Tauing (taue)	Beskrivelse av at redskapet er i aktivt fiske (En trål eller en snurrevad som slepes gjennom vannet).
Tauehastighet	Slepehastigheten til en trål eller snurrevad.
Termoklin	Termoklin er en grenseflate mellom to vannlag med ulik temperatur. Temperaturen endrer seg raskt med dypet etter dette skillet. Man snakker her om så mye som 20 °C på 150 meter.
Transmisjon	Overføring, i dette tilfellet overføring av lyd (lydbølger).
TVG	Time Variable Gain.
Under-/overtelne	Nedre og øvre knutepunkt fra trålen og frem til sveipelina.
Upwelling-system	Områder hvor geografi, vind og strømforhold fører næringsrikt vann fra dypet opp mot overflaten, og på den måten skaper et ekstra næringsrikt grunnlag for produksjonen i området (NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (USA), u.d.).
Varpet	Vaieren som går fra fartøyet og ned til tråldørene.

Virveldyr	Virveldyr er en betegnelse på dyr med virvelsøyle eller ryggrad. Virveldyrene omfatter fisk, amfibier, krypdyr, fugl og pattedyr (hvor mennesket hører hjemme). I biologisk systematikk er virveldyr er en av tre underrekker i rekken ryggstrengdyr (Store Norske Leksikon, 2015).
VRU	Vertical Reference Unit.
Våtvekt	Fangstens vekt når den løftes opp av havoverflaten.
Zooplankton/Dyreplankton	Dyreplankton, zooplankton, omfatter alle former for vannlevende dyr som driver fritt omkring i vannmassene. De er lite aktive svømmere og er lite i stand til å utføre horisontale vandring mot strømmene i vannet. Mange former foretar derimot vertikale vandring, vesentlig stimulert av endringer i lysforholdene. Dyreplankton omfatter mange forskjellige arter, og mange av dem lever av encellede planteplankton, som f. eks. kiselalger og dinoflagellater (Store Norske Leksikon, 2015).

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn.....	1
1.1.1	Konsum av fisk	1
1.2	«Mesopelagisk fisk»	3
1.3	Utfordringer	3
1.4	Trål på dypt vann	4
1.5	Rykte og bærekraftighet.....	4
1.6	Prøvefiske	5
2	Metode	6
2.1	Fremgangsmåte	6
2.2	Kvalitativ tilnærming.....	7
2.3	Intervju.....	7
2.4	Litteratur og publikasjoner.....	8
2.5	E-post korrespondanser.....	8
3	Horisontal fordeling og migrasjon.....	9
3.1	Metoder for biomassemåling	9
3.2	Måleenheter.....	9

3.3	Bruk av trål til biomassemålinger	10
3.3.1	Biomassemåling med trål.....	10
3.3.2	Problemstillinger.....	12
3.4	Fra akustiske målinger til biomasse anslag.....	13
3.4.1	Metoder for akustiske biomassemålinger	14
3.5	Beregninger basert på primærproduksjon og overføring av næring	15
3.6	Biomasse fra et globalt perspektiv	16
3.6.1	Malaspina 2010.....	16
3.7	Biomassemålinger i ulike områder	17
3.7.1	Det nordiske havområdet	17
3.7.2	Det nordøstlige Atlanterhavet.....	19
3.7.3	Omangulfen.....	21
3.7.4	Nordøst i Stillehavet	21
3.7.5	Masfjorden, Norge.....	23
3.8	Utnyttelse av biomasse	24
4	Fiskearter og næringsinnhold	26
4.1	Fiskearter.....	26
4.1.1	Laksesild	26
4.1.2	Lysprikkfisk.....	27
4.2	Næringsinnhold og bruksområder.....	28

5	Undervannsakustikk	29
5.1	Historie og utvikling	29
5.1.1	Kort historie	29
5.1.2	Hvordan opererte fiskerne før ekkoloddet ble oppfunnet?	29
5.2	Utbredelse av akustiske bølger	31
5.3	Transmisjonsforhold	32
5.3.1	Absorpsjon	32
5.3.2	Lydhastighet.....	33
5.3.3	Lydbaneberegning.....	33
5.3.4	Akustiske skygger.....	34
5.3.5	Målstyrke	35
5.3.6	Resonans	35
5.3.7	Støy	36
5.4	Akustisk instrumentering.....	37
5.4.1	Kontroller.....	37
5.4.2	Svingeren	38
5.4.3	Plassering av svinger.....	38
5.5	Fiskerirelatert akustikk.....	39
5.5.1	Tolking av ekkogram	39
5.5.2	Sonde.....	39
5.5.3	Sonar	40

5.5.4	Taktisk bruk av sonar under tråling	40
5.5.5	Multistråle ekkolodd	40
5.5.6	Fremtiden innen undervannsakustikk	40
6	Mesopelagisk undervannsakustikk.....	42
6.1	Oppdagelsen av mesopelagisk fisk	42
6.1.1	En falsk havbunn.....	42
6.1.2	Gammel akustikk	43
6.2	Utfordringer ved måling av mesopelagisk fisk.....	44
6.2.1	Konverteringsfaktor	44
6.2.2	Svømmeblære	44
6.2.3	Måling av fisk med svømmeblære.....	45
6.2.4	Lysprikkfisk uten gassfylt svømmeblære	46
6.2.5	Voks-estere	47
6.2.6	Et resonansproblem.....	47
6.2.7	Fiskens påvirkelighet for støy	47
6.3	Potensielle løsninger	48
6.3.1	Frekvensøkning.....	48
6.3.2	Frekvensreduksjon	51
6.4	Dagens utstyr	52
6.4.1	Sonar måling	52

7	Vertikal fordeling og migrasjon.....	54
7.1	Døgnlig Vertikal Migrasjon – DVM.....	54
7.1.1	Tre forskjellige typer døgnvandring	55
7.1.2	Eksogene faktorer	57
7.2	Sesongbasert Vertikal Migrasjon – SVM	59
7.3	Ontogenetisk Vertikal Migrasjon – OVM	60
8	Fangstmetoder og utstyr	61
8.1	Passive og aktive redskaper	61
8.1.1	Passive redskaper	61
8.1.2	Aktive redskaper	61
8.2	Trålens oppbygning og funksjoner	62
8.2.1	Nota, nettpanel	63
8.2.2	Headline, vinge og fiskelinet	66
8.2.3	Giret	67
8.2.4	Belg og leis	67
8.2.5	Sekk og sekkeforlengelse.....	68
8.2.6	Tråldører og varpet	69
8.3	Flytetrålen	71
8.4	Fangstpotensial, sveipeeffekt og slepemotstand for trål	73
8.4.1	Tauemotstand/slepemotstand.....	75

8.4.2	Betydning av maskestørrelse og materialtetthet	75
8.5	Praktisk fiske, trålproblematikk og ombordtaking av fangst	76
8.5.1	Trålen som ble brukt under tokt.....	77
8.5.2	Problematikk og utfordringer med en «mesopelagisk trål».....	77
8.5.3	Ombordtaking av fangst.....	79
9	Avslutning	80
9.1	Drøfting.....	80
9.1.1	Kvotering og miljøhensyn.....	80
9.1.2	Biomasse, horisontal fordeling og migrasjon	81
9.1.3	Vertikal fordeling og migrasjon.....	81
9.1.4	Anvendelsesområde	82
9.1.5	Undervannsakustikk.....	83
9.1.6	Fangstmetoder og utstyr.....	83
9.1.7	Ombordtaking	84
9.2	Konklusjon.....	85
10	Bibliografi	86
11	Figurliste	96

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I dag fiskes det kommersielt på mange ulike fiskebestander i Norge og resten av verden. De fleste av disse artene lever primært i det epipelagiske havsjiktet, som er vannmassene fra havoverflaten og ned til 200 meters dyp. Det fiskes også kommersielt etter noen mesopelagiske arter, som uer (*Sebastes marinus*), men ikke etter de mindre artene som lysprikkfiskfamilien og laksesild. Disse mindre artene antas å utgjøre en betydelig del av verdenshavens totale biomasser. Det mesopelagiske havsjiktet består av vannmassene fra 200- til 1000 meters dyp, og denne oppgaven skal se nærmere på hvilke utfordringer som finnes ved etableringen av et kommersielt fiskeri etter noen av artene som lever på disse dybdene.

1.1.1 Konsum av fisk

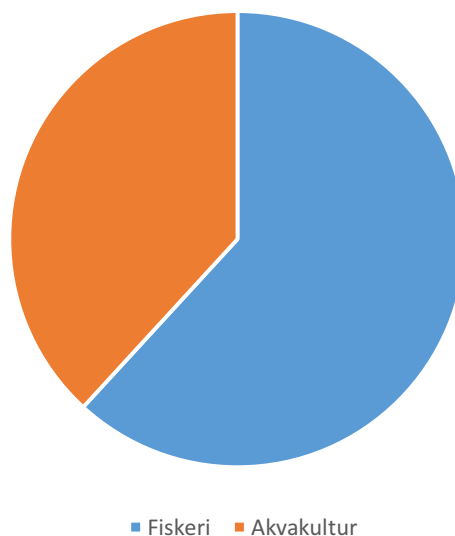
Menneskelig konsum av fisk øker stadig, og utgjorde i 2014 ca. 87,5 % av den totale mengden fisk produsert av fiskeri og akvakultur (fig. 2) (FN Food and Agriculture Organization, 2014). Ikke bare øker den totale mengden i takt med befolkningsutviklingen i verden, men også verdier for konsum per person hadde en signifikant utvikling i perioden 2009 – 2014, fra 18,1 kg i 2009 til 20,1 kg i 2014 (FN Food and Agriculture Organization, 2014). Mange av bestandene som fiskes kommersielt er allerede utnyttet maksimalt, og fisket blir regulert av kvotesystem. Denne reguleringen er årsaken til at den globale fiskeproduksjonen gjennom fiskeri kun har hatt en marginal økning i samme periode, og har til hensikt å sikre at marinbiologiske ressurser blir utnyttet på en bærekraftig måte. En løsning på den økende etterspørselen har de siste årene vært akvakultur, som har hatt en formidabel økning fra 55,7 millioner tonn per år i 2009 (fig. 1) til 73,8 millioner i 2014 (fig. 2) (FN Food and Agriculture Organization, 2014). Den stadig økende avhengigheten og utbredelsen av akvakultur, som i 2014 utgjorde vel 44 % av den totale fiskeproduksjonen, kan også medføre helse- og miljøeffekter som enda ikke har blitt utforsket. Det kan også ha en relativt ukjent effekt på de naturlige fiskebestandene, ettersom akvakultur påvirker lokal vannkvalitet og oppdrettsfisk rømmer fra havbruksanlegg.

Verdens totale produksjon i 2009 og 2014 så slik ut (tabell neste side) (FN Food and Agriculture Organization, 2014):

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

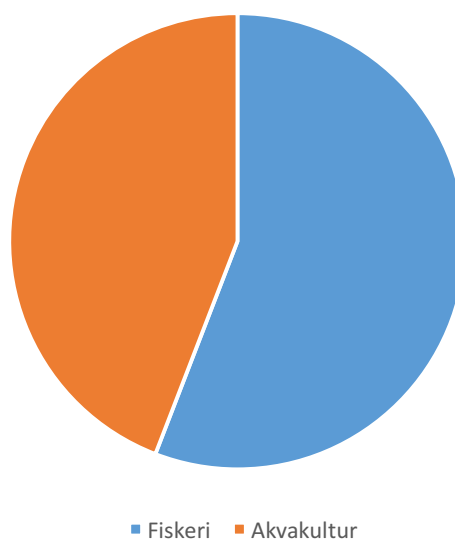
	2009	2014	Endring i perioden
Fiskeri	90,2 Millioner tonn	93,4 Millioner tonn	+ 3,5 %
Akvakultur	55,7 Millioner tonn	73,8 Millioner tonn	+ 32,5 %
Totalt	145,9 Millioner tonn	167,2 Millioner tonn	+ 14,6 %

Fordeling av produksjon i 2009



Figur 1 Fordeling av fiskeproduksjon i 2009. Utarbeidet av data fra FAO (FN Food and Agriculture Organization, 2014).

Fordeling av produksjon i 2014



Figur 2 Fordeling av fiskeproduksjon i 2014. Utarbeidet av data fra FAO (FN Food and Agriculture Organization, 2014).

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

Verdens antatt største fiskebestand består av de relativt små mesopelagiske artene, som lysprikkfiskfamilien og laksesild. De nyeste estimatene for biomasse anslår at disse utgjør om lag 10 000 millioner tonn på verdensbasis, som til sammenlikning er mer enn 100 ganger større enn verdens totale kommersielle fiskeri i 2014, som var på 93,4 millioner tonn (FN Food and Agriculture Organization, 2014). Med en gjennomsnittlig levetid på mellom 3 og 8 år (lysprikkfiskfamilien og laksesild) (Pethon, 2005), gir dette grunnlag for å utvikle et kommersielt fiskeri som potensielt kan bli blant de største i verden. Fiskeri på disse artene eksisterer ikke i kommersiell skala per i dag, men det har blitt gjort en rekke vitenskapelige forsøk.

1.2 «Mesopelagisk fisk»

Gjennom oppgaven blir det presentert og drøftet utfordringer og forskning ved etableringen av et mesopelagisk fiskeri. Begrepet «mesopelagisk fisk» er veldig sentralt i oppgaven, det kreves derfor noen presiseringer rundt oppgavens bruk av dette. I forbindelse med forskning som biomassemålinger brukes begrepet mesopelagisk fisk som fellesbetegnelse for all fisk som befinner seg i det såkalte «deep scattering layer» i det mesopelagiske havsjiktet. Denne generaliseringen er mindre egnet i forbindelse med forskning rettet mot de praktiske utfordringene ved å etablere et kommersielt fiskeri. Dette skyldes at erfaringene som gruppen har gjort seg kjent med på dette feltet i stor grad kommer fra prøvefiske av de mesopelagiske artene som lever i de nordiske havområdene. Dette er i stor grad laksesild (*Maurolicus muelleri*) og noen ulike arter i lysprikkfiskfamilien (*Myctophidae*). Gruppen har likevel valgt å benytte begrepet «mesopelagisk fisk» i disse sammenhengene, men ønsker å presisere at det er uvisst om informasjonen som blir knyttet opp til dette begrepet er relevant/anvendelig for fiskeri av andre mesopelagiske arter enn laksesild og enkelte arter av lysprikkfamilien (arter beskrevet i kap. 4.1.2).

1.3 Utfordringer

En av de mest sentrale utfordringene er den vertikale døgnvandringen hos mesopelagisk fisk, hvor fisken gjerne oppholder seg på dypet om dagen og forflytter seg til høyere vannmasser i ly av natten. I tillegg til utfordringene knyttet til fiskens vertikale fordeling, er det også stor usikkerhet knyttet til den horisontale fordelingen i verdenshavene. Det har blitt gjort en rekke biomassemålinger for å forsøke å kartlegge bestandene, og et utvalg av disse vil bli

presentert i oppgaven. Felles for disse biomasseanslagene er at det er knyttet mye usikkerhet til metodene som brukes for å utarbeide dem. Hydroakustikk og tråling er to viktige metoder som brukes til biomassemålinger, men som også er viktige instrument og redskap i dagens kommersielle fiskerier. Det er nærliggende å tro at disse teknikkene er høyst aktuell med tanke på utviklingen av et mesopelagisk fiskeri, og disse temaene er derfor gitt ekstra oppmerksomhet gjennom denne oppgaven. I tillegg til tilpasning av fangstteknologi er det også utfordringer knyttet til behandling av fisken etter den er fanget (Grimaldo, 2017).

1.4 Trål på dypt vann

Tråling på dypt vann etter fisk er ikke noe revolusjonerende i seg selv. Fiske etter andre arter som rødfisk og blåkveite foregår i dag på tilsvarende havdyp som det mesopelagiske havsjiktet. I 2016 utstedte EU et forbud mot bunntråling på mer enn 800 meters dyp i europeiske farvann, men pelagisk tråling er ikke regulert på samme måte (Senet, 2016). Det meste av slik dypvannstråling er i dag bunntrål, og dagens pelagiske tråling går sjeldent like dypt. Noe av teknologien for å drive tråling på dypt vann er altså på plass, og det som trengs er en tilpasning til de mindre mesopelagiske fiskeartene.

1.5 Rykte og bærekraftighet

Tråling på dypt vann har med tiden fått ett ganske dårlig rykte på seg, og organisasjoner som «Deep Sea Conservation Coalition» jobber nå aktivt for å stoppe det de hevder er ødeleggelse og overfiske av ressurser på dypet (Deep Sea Conservation Coalition, u.d.). I denne sammenhengen er det viktig å skille mellom bunntråling og såkalt pelagisk tråling. Bunntråling kan forårsake store skader på de marine miljøene ved å dra trålen langs bunnen (Deep Sea Conservation Coalition, u.d.). Pelagisk tråling, som er relevant med tanke på fiske av mesopelagiske arter, skaper nok ikke de samme ødeleggelsene siden trålen beveges i de frie vannmassene. Et perspektiv som er viktig for alle typer tråling er faren for overfiske, og siden det er ekstra vanskelig å overvåke de bestandene som lever i dypere farvann er dette særs relevant. Dagens bestander av mesopelagisk fisk er store, men på ingen måte utømmelige. Det kreves nok derfor at det utarbeides et kvotesystem på lik linje med andre fiskerier. For å unngå å true andre arter er det også ønskelig å utvikle systemer som reduserer bifangst. Mesopelagisk fisk utgjør trolig et viktig trinn i de nedre deler av næringskjedene i havet som flere arter er avhengig av, det er derfor viktig å få god oversikt over hvilke

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

konsekvenser fiskeriet vil kunne ha for andre arter lenger oppe i samme næringskjede. Redusert mengde mesopelagisk fisk vil også kunne påvirke de artene som blir spist av fisken, og det er også viktig å forstå konsekvensene av dette (Klevjer, 2017). Et annet viktig punkt som er kommet fram i nyere forskning er hvordan mesopelagisk fisk transporterer masse fra de høyere vannmassene og ned i dypet gjennom sin vertikale døgnvandring. Organisk materiale transporteres i kroppen til fisken ettersom den konsumerer føde i de høyere vannmassene og deretter dykker ned til dypt vann, hvor deler av dens ekskrementer blir sluppet. Denne effekten ble før beregnet til å bare ha en begrenset innvirkning på havets syklus, men de nye høyere biomasse estimatene gjør at verdier for denne overførselen kommer på et mer signifikant nivå. Her kreves det mer forskning for å forstå hvilke konsekvenser det kan få for havet dersom man skal påvirke disse biomassene gjennom fiskeri (Davison, 2013).

1.6 Prøvefiske

Det norske rederiet Br. Birkeland AS har gjennomført prøvefiske i havområdene ved Azorene og Reykjanes Ridge, men ville av konkurransemessige årsaker ikke dele alle detaljene fra sine resultater med gruppen. Det er totalt 39 norske rederi som har fått tillatelse til å drive prøvefiske etter mesopelagisk fisk og bare to av disse har fått såkalt utvidet prøvetillatelse (Grimaldo, 2017). De ordinære tillatelsene har en relativt kort varighet på ett år, mens de utvidede tillatelsene har en varighet på fem år. Det er rederiene Br. Birkeland AS og Nordnes AS som har fått de utvidede tillatelsene til å drive prøvefiske. Nordnes AS har blant annet drevet prøvefiske i Irminger havet (Grimstad & Grimstad, 2017).

2 Metode

Det har inntil nylig vært begrenset med forskning på selve mulighetene og utfordringene ved utviklingen av et kommersielt mesopelagisk fiskeri. Tidligere forskning har i stor grad tatt for seg hvilke arter og mengder som finnes, men lite av forskningen er praktisk rettet mot hvordan man skal kunne fiske disse på kommersiell skala. I forbindelse med biomasseberegninger har det også vært forsket en del på fiskenes akustiske egenskaper med hensyn til bruk av akustiske systemer som ekkolodd og sonar for å kunne omgjøre akustiske målinger til biomasse-anslag. Dagens kunnskapsnivå er begrenset til resultatene og områdene hvor forskningen har blitt utført, og estimerer som forsøker å beregne totale verdier basert på resultater av lokale målinger og kunnskap om utbredelse. De siste årene har det også blitt forsket mer på den praktiske tilnærmingen ved utviklingen, og her har det private næringslivet vært en viktig bidragsyter (Grimaldo, 2017). Med denne oppgaven ønskes det å lage en oversiktlig og forklarende oppsummering av de utfordringene og den fremgangen gruppen har gjort seg kjent med ved å gjennomgå forskningsbaserte rapporter og ved intervju av eksperter på fagfeltet. Gruppen ønsker å samle den informasjonen som er tilgjengelig og som den har funnet, og dermed gjøre det enklere for personer med begrenset innsikt i dette temaet å forstå hvilke problemstillinger, ressurser og forskning som er sentral i utviklingen av det som potensielt kan bli en ny og svært viktig industri både nasjonalt og internasjonalt. Med hensyn til fordeling av ressurser til oppgaven har gruppen valgt å ikke ta med all informasjon og rapporter som finnes om hvert tema: For eksempel har det blitt valgt å presentere noen, men ikke alle lokale biomassemålinger som er blitt gjort i nyere tid. Vurderingen av dette er gjort med hensyn til hva som er mest relevant og nyttig for oppgaven, med den målsetningen at disse rapportene ikke skal inneholde ny informasjon som endrer eller strider med de synspunktene som kommer frem i oppgaven.

2.1 Fremgangsmåte

For denne oppgaven var det helt sentralt at gruppen fikk god oversikt over hvilken forskning som eksisterer på dette fagfeltet. Det ble tidlig tatt kontakt med Havforskningsinstituttet som hjalp med å plukke ut relevant litteratur og som var villig til å svare på spørsmål som oppstod underveis. Etter å ha gjennomgått samtlige av de først utvalgte rapportene gikk gruppen sammen for å drøfte hvilke aspekter som skulle få mest fokus i oppgaven.

For å styrke forståelsen av rapportene som har blitt gjennomgått og for å få svar på en del vanskelige spørsmål som oppstod underveis i arbeidet utførte gruppen et intervju ved Havforskningsinstituttet i Bergen.

Som nevnt tidligere har også næringslivet nylig bidratt med forskning i utviklingen av et mesopelagisk fiskeri, men mye av denne forskningen, som er kjøpt av bedrifter, er ikke publisert. Forskningsorganisasjonen SINTEF selger forskning til næringslivet, og i samarbeid med bedriften Br. Birkeland AS har de forsket på praktiske utfordringer ved utviklingen av et mesopelagisk fiskeri. Mye av deres resultater er i dag bedriftshemmeligheter og kan kun gis ved tillatelse fra Br. Birkeland AS. Gruppen fikk likevel lov til å gjennomføre et intervju ved SINTEF i Trondheim, og fikk mye relevant informasjon som ikke blir hemmeligholdt.

2.2 Kvalitativ tilnærming

Denne oppgavens art gjør det naturlig å ha en kvalitativ tilnærming. Det har blitt fokusert på å finne de mest anerkjente rapportene og forsøkt å kvalitetssikre gruppens arbeid gjennom dialog og intervjuer med ledende forskere og eksperter på de relevante fagfeltene. Det finnes begrensede mengder informasjon som gruppen anser som relevant å bearbeide kvantitativt, og gruppens vurdering var derfor at det ikke var stort nok grunnlag til å utføre kvantitative undersøkelser. Det har også vært viktig for gruppen å kartlegge forskningens begrensinger. For å videre sikre kvaliteten har det blitt sammenliknet resultater fra flere forskningsbaserte rapporter ved se på hvordan de ulike rapportene tar for seg de viktigste problemstillingene ved denne oppgaven. Det har vært spesielt viktig for gruppen å få frem svakhetene med disse forskningsbaserte resultatene.

2.3 Intervju

For denne oppgaven ble det naturlig å gjennomføre dybdeintervju med utvalgte eksperter på området fremfor spørreundersøkelser og intervju rettet mot et større utvalg. Dette begrunnes med at det sannsynligvis er forskere som forsker aktivt på dette temaet som har best evne til å besvare våre spørsmål, og dette forskningsmiljøet utgjør en relativt liten gruppe individer. Det ble totalt gjennomført to intervju.

Da gruppen hadde begrenset kjennskap til hvor omfattende intervjuobjektene kunnskap var rundt dette fagfeltet, ble det konkludert med at et åpent intervju ville tjene formålet best.

Gruppen hadde forberedt spørsmål som den ønsket å få svar på og som fungerte som rettesnorer gjennom intervjuene, men det var også viktig at intervjuobjektene fikk fortelle om sin forskning og de temaer som han eller hun fant mest relevant for gruppens arbeid. Kandidater til de to intervjuene som ble gjennomført ble vurdert ut fra relevans av ekspertens kompetanse til oppgavens tema og tidligere erfaring fra forskningsarbeid på fagfeltet. For å sikre størst kunnskapsgrunnlag var det også ønskelig at intervjuobjektene skulle være tilknyttet forskjellige forskningsprosjekter.

Intervjuene ble tatt opp ved hjelp av digital lydopptaker, og intervjuobjektene ble informert om dette.

2.4 Litteratur og publikasjoner

De fleste av rapportene og publikasjonene som angår dette området fokuserer på biomassemåling, hydroakustisk deteksjon og fiskens vertikale døgnvandring, dette har derfor fått en sentral posisjon i denne oppgaven. Publikasjonene tar for seg forskning på forskjellige områder i verden, blant annet Stillehavet, Atlanterhavet, havområdene fra norskekysten til Grønland og Masfjorden (Norge). Havforskningsinstituttet assisterte som nevnt tidligere gruppen med å finne og velge ut rapporter som er relevant for oppgaven.

2.5 E-post korrespondanser

I noen tilfeller hvor det ikke har vært mulighet eller stort nok behov til å gjennomføre et intervju, har gruppen kontaktet den aktuelle personen på e-post. Dersom personen sa seg villig til å svare på spørsmål via e-post fikk personen tilsendt de spørsmål gruppen ønsket å stille vedkommende.

3 Horisontal fordeling og migrasjon

Den totale biomassen til mesopelagisk fisk gjør sannsynligvis disse til verdens mest tallrike virveldyr (The Economist, 2017). Utbredelsen har blitt tatt for seg i flere forskningsprosjekt rundt om i verden, og teknikkene som har blitt benyttet til biomassemåling er stort sett tråling og akustiske målinger.

Det horisontale fordelingsmønsteret for mesopelagisk fisk ser generelt ut til å være jevnt fordelt mellom vannmassene. Noen arter finner man kun i begrensede havområder, mens andre finnes i alle havområder. De fleste mesopelagiske fiskearter befinner seg i den oseaniske sonen (J. Gjøsæter, 1980), som er havområder som måler 200 meter dybde eller mer (Tyler, 2017). Man har også observert mesopelagiske fiskearter i kystnære soner med dybder på mindre enn 200 meter (J. Gjøsæter, 1980).

De mesopelagiske fiskenes horisontale migrasjon finnes det fortsatt lite dokumentasjon på, men det har blitt gjort enkelte målinger i blant annet Masfjorden i Norge der de «target-tracket» enkelte individer for å måle svømmehastigheten på disse. Resultatet var at fiskens bevegelse var tilsvarende farten og retningen til strømmene i fjorden, dermed regner man med at fiskenes svømmehastighet er minimal og at den horisontale migrasjonen tilsvarer lokale strømforhold (Klevjer, 2017).

3.1 Metoder for biomassemåling

Utbredelsen har blitt tatt for seg i flere forskningsprosjekter rundt om i verden. Metodene som benyttes for biomassemåling av mesopelagisk fisk er stort sett tråling og hydroakustiske målinger, men det har også blitt gjort beregninger på biomasse basert på primærproduksjon og overføring av næring. For å oppnå et tilnærmet perfekt resultat ved biomassemåling, må måleredskapene være nøyaktig utviklet og innstilt for hva en ønsker å måle. Dette er den største problemstillingen man står ovenfor i dag innen biomassemåling (Klevjer, 2017).

3.2 Måleenheter

Når man beregner biomasse benytter man ofte måleenheten «gram per kvadratmeter havoverflate» (g/m^2). Denne verdien kan deretter gjøres om til totalt antall tonn våtvekt, for

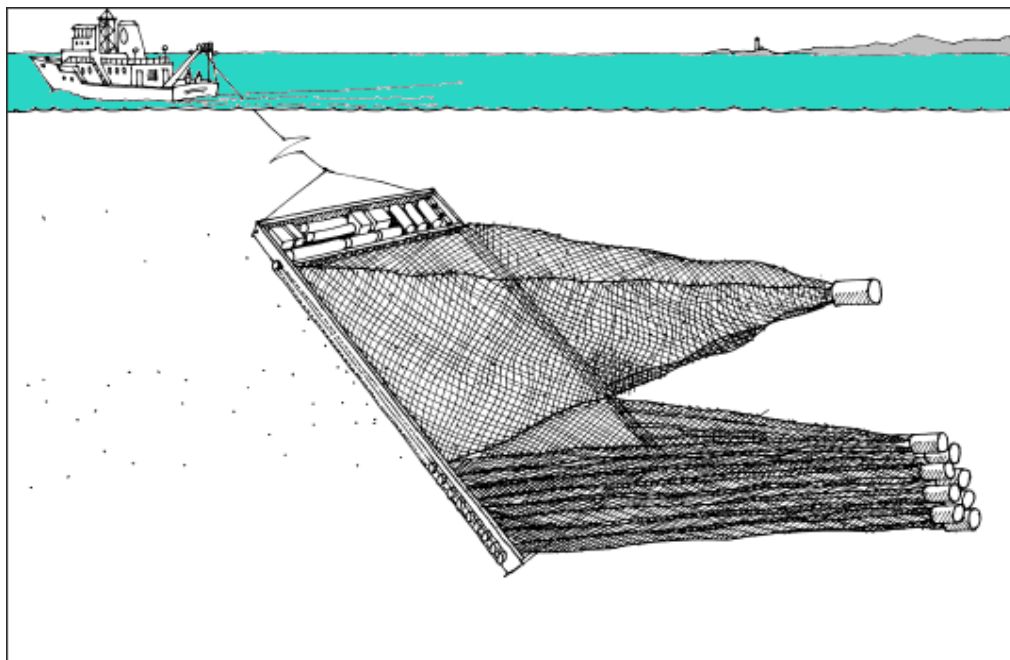
det aktuelle området dersom man vet områdets areal. Våtvekt er fangstens vekt når den løftes opp av havoverflaten (Klevjer, 2017).

3.3 Bruk av trål til biomassemålinger

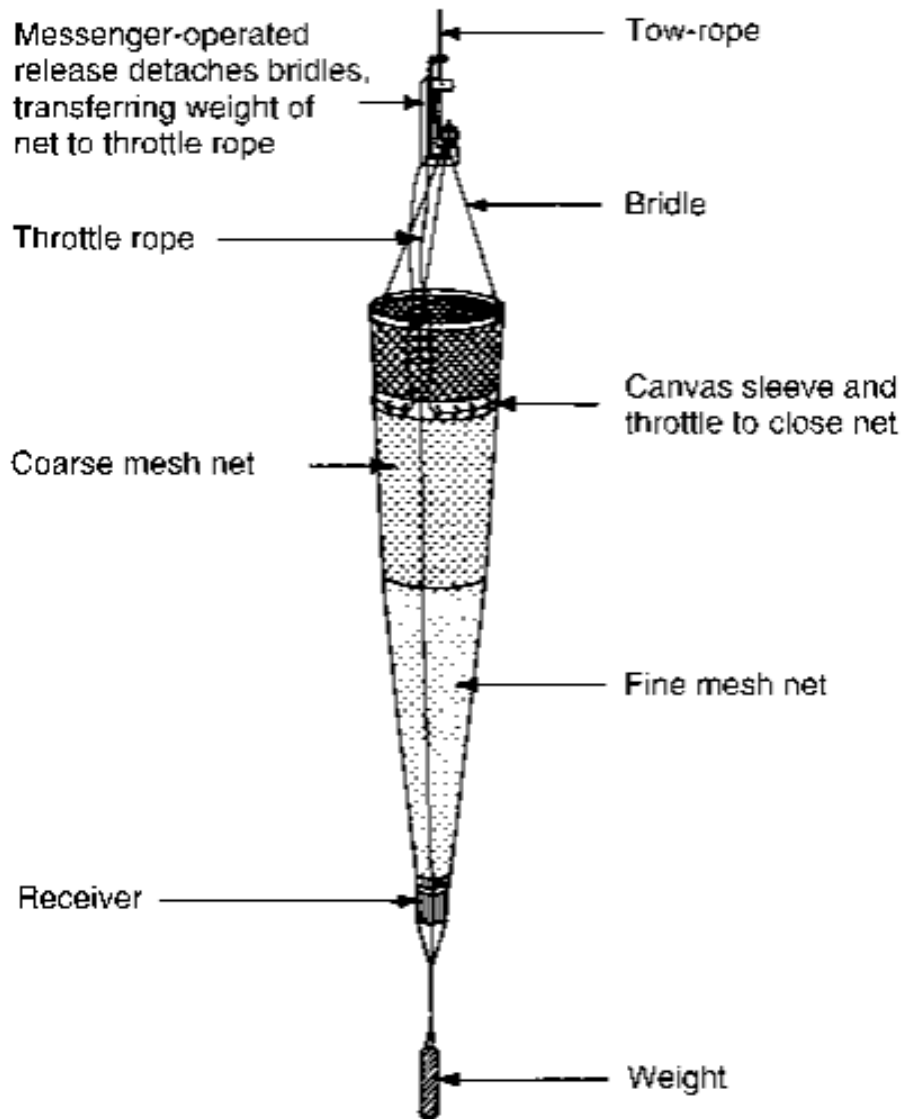
En av de mest vanlige metodene for å kartlegge fiskebestander har gjennom lang tid vært prøvofiske, og et av de mest brukte redskapene til dette er trål.

3.3.1 Biomassemåling med trål

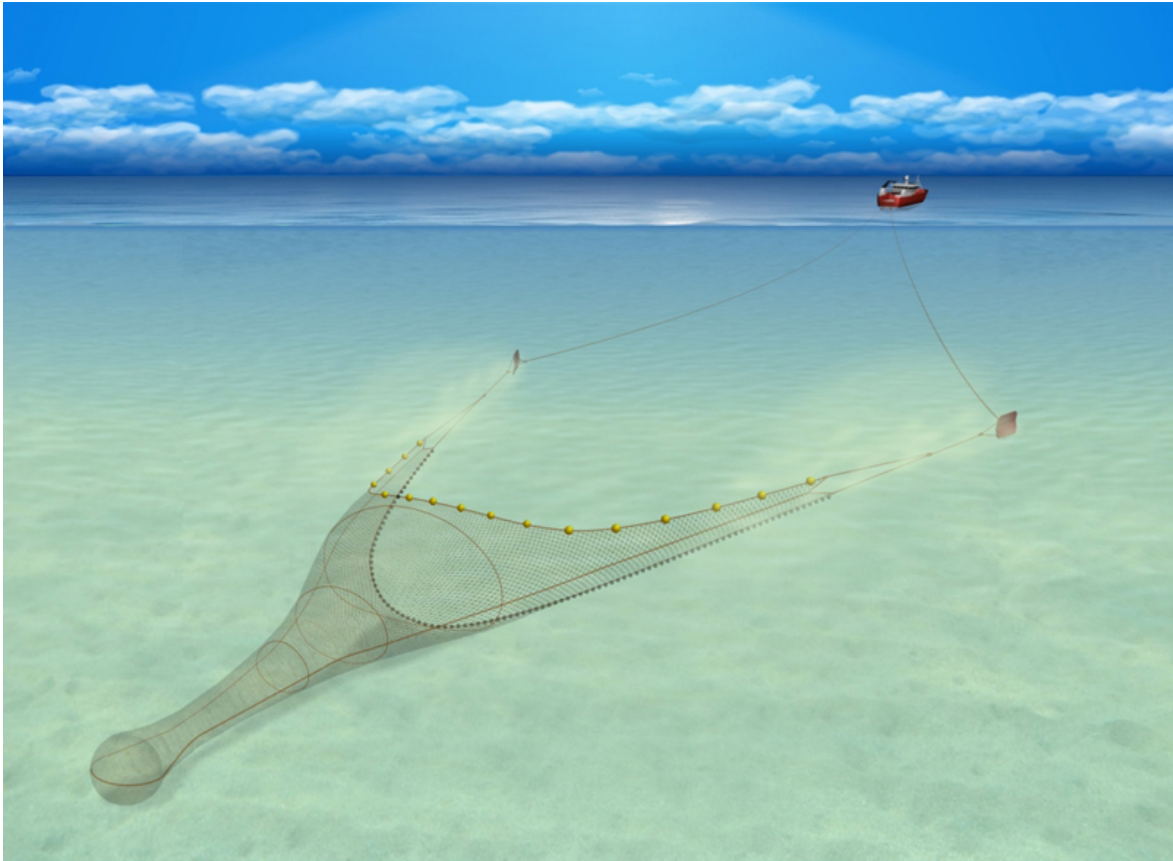
Til biomassemåling av mesopelagiske arter benyttes hovedsakelig tre forskjellige typer trål, plankton trål (fig. 4), mocness trål (fig. 3) og konvensjonell trål (fig. 5). Hvilken type man velger å bruke avhenger av hvordan man ønsker å kartlegge bestandene. Plankton trål er en sylindrisk finmasket pose som kan brukes til å tråle både loddrett og horisontal i vannmassene. Dette redskapet benyttes til å samle plankton og større individer som mesopelagisk fisk. Mocness trål er en finmasket trål som taues horisontalt i vannmassene. Mocness tråls egenskaper er godt egnet til biomassemåling, siden den består av flere antall fjernstyrte nett som kan åpnes og lukkes på forskjellige dybder. Konvensjonell trål benyttes når man måler biomasse horisontalt ved en gitt dybde (Ref. Kap. 8.1.1).



Figur 3 Mocness trål (U.S. GLOBEC, 2002)



Figur 4 Plankton trål av typen «Nansen closing net» (Williams, 2017)



Figur 5 *Konvensjonell trål* (Seafish, u.d.)

3.3.2 Problemstillinger

Utviklingen av en effektiv trål for fangst av de mesopelagiske fiskeartene er nødvendig med hensyn til blant annet fiskens størrelse og bevegelighet. Det kreves tilpasninger for maskevidde, fart, design og størrelse på åpningen. Mange av de tidligere anslagene som var basert på prøvefiske har i de senere årene blitt ansett som feilaktig, blant annet ettersom det antas at fisken til en viss grad er i stand til å detektere og unnsnippe de relativt små forskningstrålene (Klevjer, 2017). Ettersom de ulike mesopelagiske artene har ulike egenskaper med tanke på unnslippelsesevne og størrelse, kreves det kunnskap om lokal artssammensetning for å kunne beregne korrekt biomasse ut fra slike mangelfulle tråldata (Irigoiien, et al., 2014). Det er en del usikkerhet knyttet til fiskens bevegelighet, men ifølge gruppens kilde hos SINTEF, som har vært med på prøvefiske med trål av kommersiell størrelse, var dette ikke et stort problem for dem da de fisket etter laksesild og lysprikkfisk. Størrelsen på de industrielle trålene gjør det nok vanskeligere for fisken å unnsnippe. Mindre tråler, som ofte blir brukt til forskning, kan være mer utsatt for unnslippelse. For at man skal kunne få gode beregninger ut fra mangelfulle tråldata, kreves det kunnskap om hvor store

andeler som det ikke lykkes å fange i forhold til hvor mye som lykkes å fange. Siden det finnes svært mange forskjellige arter med mesopelagisk fisk som potensielt har ulik evne til å unnsnippe trålen, er det snakk om svært omfattende kartlegging av adferd for å kunne beregne dette korrekt. «*Det sies at arten laksesild har en viss bevegelighet, mens lysprikkfisk-arter virker å nærmest flyte vilkårlig rundt i det horisontale planet av vannmassene*» (Grimaldo, 2017). Noen av dem foretar likevel vertikal døgnavdring, så en viss evne til å bevege seg vertikalt finnes. Det finnes for lite kunnskap om fiskens horisontale bevegelse til å kunne si om den utfører årlige vandringer eller forflytter seg mellom områder (Klevjer, 2017). I forhold til tradisjonelle tråler er fiskens lave bevegelighet også en utfordring: De store maskene som vanligvis «sveiper» fisken mot trålposen har ikke den samme effekten på mesopelagisk fisk, fiskene blir i stedet filtrert rett gjennom de store maskene, og det er i praksis kun den finmaskede delen av trålen som fisker (Ref. Kap. 8.4). En annen faktor som nok kan påvirke trålresultatene også i den finmaskede delen av trålen er dersom de skjøre fiskene presses gjennom maskene av trykket som oppstår når trålen er i fart og når den hales inn (Grimaldo, 2017).

3.4 Fra akustiske målinger til biomasse anslag

Noen av de eldre biomasse beregningene var også basert på akustiske data, disse var beregnet ut fra mangelfull kunnskap om de forskjellige artenes akustiske profil og Target Strength (TS). Disse eldre beregningene hadde veldig store usikkerhetsmomenter knyttet opp til dem og etter hvert som det ble forsket mer på disse svakhetene ble det mer og mer tydelig at beregningene kunne avvike kraftig fra den virkelige biomassen. Kunnskap om den lokale biomassens sammensetning av ulike arter, akustiske profiler, størrelses- og alders-distribusjon er viktig for å videre optimalisere presisjonen ved beregningene og gi en presis formel for beregninger fra dB til vekt. Malaspina 2010 beregningene gir resultater som varierer fra 6000 til 200 000 millioner tonn biomasse, med medianverdier mellom 11 000 og 15 000 millioner tonn (Irigoiien, et al., 2014). Dette enorme spriket innenfor hva som er beregnet til å være realistiske anslag basert på realistiske forhold viser tydelig at det fortsatt kreves mye forskning for å gjøre anslagene mer presise. Akustiske refleksjonsegenskaper for mesopelagisk fisk er avhengig av dybde og er ikke lineært med hensyn til fiskens størrelse (lengde og vekt), og dette er noen av utfordringene som gjør det hele veldig komplisert. For eksempel er det noen av artene hvor de mindre individene har sterkest

refleksjon slik at disse dominerer de akustiske dataene, selv om det antas at disse artenes biomasse blir dominert av de større individene (Ref. Kap. 5 og 6) (Davison, et al., 2015) (Irigoiien, et al., 2014). Sammensetning av alder og størrelse av en art vil normalt variere mellom lokasjoner og forhold, og det kan være vanskelig å beregne dette uten å gjennomføre et effektivt testfiske (lav unnslippelse). Som ved de fleste biomassemålinger er det bare et utsnitt av utbredelsesområdet som ligger til grunn for beregningene, så estimatene bør sees på som omtrentlige, og dette er også i dag et viktig usikkerhetsmoment (Irigoiien, et al., 2014). Andre målinger støtter også opp om de høyere biomasse estimatene, blant annet data fra Stillehavet som ble publisert i rapporten «Acoustic biomass estimation of mesopelagic fish: backscattering from individuals, populations, and communities» av P.C. Davidson m.fl. (Davison, et al., 2015) (Ref. kap. 3.7). Videre er det også andre svakheter ved akustiske målinger som støy og teknologiske begrensninger som også kan være feilkilder, og blir tatt for seg i siste del av rapporten «Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean». Her beskrives også andre utfordringer som artssammensetning og TS, og dersom man ønsker en enda bedre forståelse for svakheter og utfordringer med disse nye estimatene så anbefales det å lese denne. Det ble også gitt en del kritikk for at rapporten «Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean» brukte samme verdier for resonans i områder med ulike lokale forhold. I samme rapport hevdes det også at dersom områdene mellom 70° nord og 70° sør inkluderes kan man forvente en økning i de totale biomassene i størrelsesorden rundt 30 % dersom man kun tar hensyn til overflateareal (Irigoiien, et al., 2014).

3.4.1 Metoder for akustiske biomassemålinger

Skanning av vannsøylen med hjelp av ekkolodd montert på skip er den mest benyttede metoden for biomassemåling med akustiske instrumenter. Denne metoden kan danne et detaljert bilde av dype vannsøyler over store geografiske områder på relativt kort tid. En annen og mindre benyttet metode for biomassemåling med akustiske instrumenter er bunnmontert ekkolodd. Fordelen med denne metoden for biomassemåling er at den kan skape en langsiktig skanning av vannsøylen i samme posisjon over lengre perioder. Ved bunnmontert biomassemåling monteres det en modul på havbunnen som er utstyrt med ekkolodd. Modulen er koblet opp mot en stasjon montert på land som mottar data kontinuerlig. Ekkoloddstrålen er rettet vertikalt oppover mot havoverflaten. Ulempen med denne metoden er at den til nå kun er utviklet for grunnere og skjermete områder langs

kysten. I Masfjorden, Norge har denne typen måling blitt benyttet over perioder på flere måneder i forbindelse med forskjellige forskningsforsøk (Dypvik, 2012).

3.5 Beregninger basert på primærproduksjon og overføring av næring

Det har også blitt sett nærmere på estimatene som var basert på næringskjeder og effektiv overføring av næring gjennom de forskjellige leddene. Tidligere estimat baserte seg på lave verdier som at kun 10 % av primærproduksjon (PP) ble utnyttet, og gav resultater mellom 900- og 2000 millioner tonn (Tremblay-Boyer, 2011). Nyere estimat har vist at mikrozooplankton er den største konsumenten av PP, med et gjennomsnittlig konsum av 70 – 80 %. Nye data for mesozooplankton anslår et gjennomsnittlig konsum på mellom 10- og 20 %, noe som gir et sammenlagt gjennomsnitt på ca. 90 % (Irigoien, et al., 2014). Dette betyr at nærmere 90 % av PP av biomasse entrer næringskjedene, noe som gir et helt annet beregningsgrunnlag når man videre skal beregne biomasse basert på effektiv overføring i næringskjedene. Både tidligere og nyere beregninger er basert på ECOTROPH modellen, og grunnet manglende kunnskap om effektivitet i overføringen beregnes det med verdier fra 0,05 til 0,20. Dette gir estimater for biomasse av mesopelagisk fisk fra 2300 til 71 299 millioner tonn (mellom 40° N og 40° S) (fig. 6), med et konsum av PP på henholdsvis 70, 80 eller 90 % og en gjennomsnittstemperatur på 9 °C (Irigoien, et al., 2014).

Table 3 Fishes biomass Ecotroph estimates.			
Trophic efficiency between TL	% PP to food chain		
	70%	80%	90%
5%	2,322	2,655	2,985
10%	10,691	12,224	13,744
20%	57,054	64,148	71,299

Ecotroph fishes biomass estimates (millions of tons) between 40° N and 40° S as a function of the efficiency between trophic levels and the flux from PP to the first trophic level (TL).

Figur 6 Ecotroph beregninger hentet fra rapporten «Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean» (Irigoien, et al., 2014)

3.6 Biomasse fra et globalt perspektiv

Nyere og mer omfattende akustiske data samt ny kunnskap om artenes akustiske profiler og TS har blitt brukt til de nyeste biomasse-estimatene: Ved å analysere data fra den omfattende Malaspina 2010 ekspedisjonen fikk man det nye globale estimatet på 10 000 millioner tonn, som er omtrent ti ganger større enn tidligere anslag. Dette anslaget er kun for havområdene mellom 40° nord og 40° sør som er dypere enn 1000 meter, som var grensene for Malaspina 2010 ekspedisjonen (Irigoiien, et al., 2014).

For å gi en bedre forståelse av en av de viktigste publikasjonene som angår globale biomasse-estimat og som legger grunnlaget for det anslaget som gruppen anser som mest relevant, gis det under en beskrivelse og oppsummering av Malaspina 2010 ekspedisjonen.

3.6.1 Malaspina 2010

En av de mest omfattende kartleggingene av mesopelagisk fisk i verdenshavene ble gjort av den spanske Malaspina 2010 Circumnavigation Expedition, som utførte hydroakustiske målinger med et Simrad EK60-ekkolodd gjennom en rute som krysset Atlanterhavet, Stillehavet og Det Indiske hav. Ekspedisjonen seilte fra Europa til Stillehavet gjennom Panamakanalen, så krysset den Stillehavet og seilte sør for Australia, til slutt rundet den Kapp det gode håp og fortsatte nordover gjennom Atlanterhavet tilbake til Europa. Analyser av data fra denne ekspedisjonen utført av en multinasjonal kollaborasjon som inkluderte deltagere fra Universitetet i Bergen og som ble publisert av Nature Communications i 2014, beregnet den totale biomassen av mesopelagisk fisk i verdenshavene til å være i størrelsesorden rundt ti tusen millioner tonn. De akustiske resultatene samlet av ekspedisjonen viser at dersom det tidligere estimatet på tusen millioner tonn skal være korrekt, må alle fiskene ha en akustisk profil nær det som ansees som maksimale verdier, og fisken må utgjøre mindre enn 20 % av det totale ekkoet fra det mesopelagiske «Deep Scattering Layer» (DSL). Dette sees på som relativt usannsynlig med hensyn til tidligere biomasseprøver, og enhver endring i disse parameterne mot verdier som er mer sannsynlig gir signifikant høyere verdier. Med en jevnere fordeling av ulike akustiske profiler, som er å forvente i en normal bestand med ulike fiskestørrelser, vil mesopelagisk fisk kun utgjøre 10 % av det totale DSL for å oppnå verdier tilsvarende 1000 millioner tonn (Irigoiien, et al., 2014).

3.7 Biomassemålinger i ulike områder

Med utgangspunkt i egne vurderinger og råd fra eksperter har gruppen valgt å se nærmere på noen utvalgte områder hvor det har blitt gjennomført biomassemålinger. Det har vært ønskelig å få med områder i og nært Norge, områder som har et godt grunnlag for sammenlikning med globale biomasse-estimater og områder med spesielt store forekomster.

3.7.1 Det nordiske havområdet

Det nordiske havområdet (fig. 7) inkluderer Norskehavet, Grønlandshavet og Islandshavet. Havområdet inneholder polare klima, kupert dybdeterreng og store kalde og varme havstrømmer. Dette gjør at man kan forvente variasjoner mellom arter og mengder biomasse mellom de geografiske områdene. Dette området mangler nyere dokumenterte biomassemålinger. I Havforskningsinstituttets arkiv kan man finne en rapport for området fra 1998 (Dalpadado, et al., 1998). I 1998 ble den horisontale fordelingen og biomassen av mesopelagisk fisk i de nordiske havområdene kartlagt (fig. 8). Dataene som ble brukt kommer fra et forskningstokt som ble utført i 1993 – 1995. Til målingene ble det benyttet et mocness plankton nett i tillegg til en konvensjonell pelagisk trål. Målingene ble gjort på dybder mellom 0 – 600 meter. Disse målingene viste at den mesopelagiske bestanden havområdet er dominert av nordlig lysprikkfisk (*Benthosema glaciale*) og laksesild (*Maurolicus muelleri*). Nordlig lysprikkfisk var bredt fordelt over hele havområdet, men laksesilden var begrenset til de varmere atlantiske vannmassene. Biomasseestimatene av disse varierte fra 0,25 til 2,30 millioner tonn våtvekt (Dalpadado, et al., 1998).



Figur 7 Det nordiske havområdet (Google-Maps, u.d.)

Spesifikke måledata for hver fiskeart:

Nordlig lysprikkfisk (*Benthoosema glaciale*):

Denne arten ble observert i hele havområdet med en totallengde på opptil 15 cm, ved dybder mellom 200 – 600 meter.

Følgende biomasseestimer ble gjort:

Posisjon	Mengder
Polare områder	0,8 g/m ²
Atlantiske områder	4,4 g/m ²
Kyst/Atlantiske områder	3,4 g/m ²
Kyst områder	0,0 g/m ²
Totalt biomasse estimat:	2,30 millioner tonn våtvekt

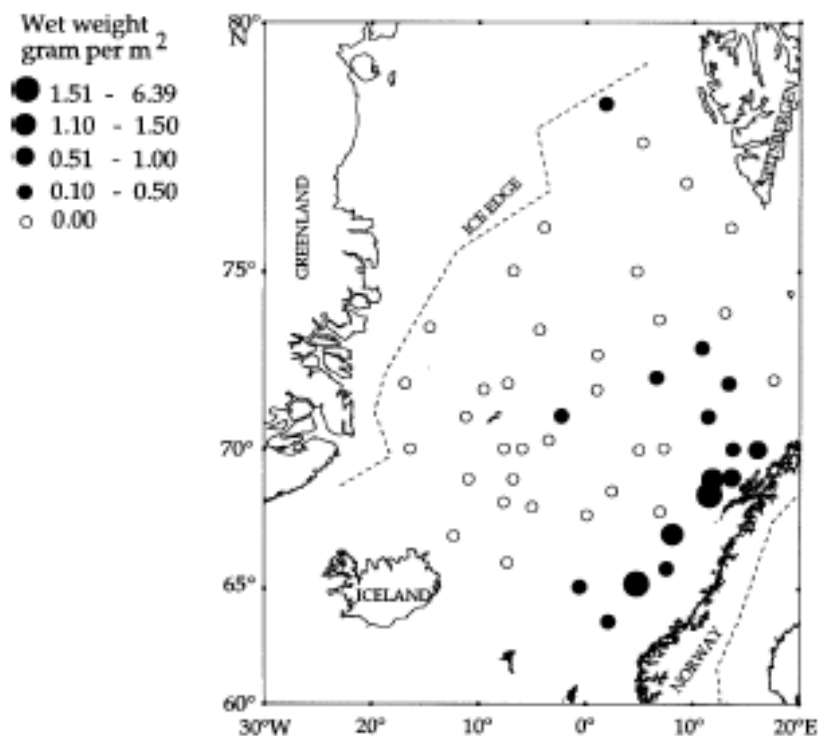
Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

Laksesild (*Maurolicus muelleri*):

Denne arten ble kun observert i de varmere kyst/atlantiske havområdene med en totallengde på opptil 6 cm, ved dybder mellom 30 – 600 meter.

Følgende biomasseestimer ble gjort:

Posisjon	Mengder
Polare områder	0,0 g/m ²
Atlantiske områder	< 0,001 g/m ²
Kyst/Atlantiske områder	< 6,39 g/m ²
Kyst områder	0,0 g/m ²
Totalt biomasse estimat:	0,25 millioner tonn våtvekt



Figur 8 Horisontal fordeling av laksesild (*Maurolicus muelleri*) i nordiske havområder (Dalpadado, et al., 1998).

3.7.2 Det nordøstlige Atlanterhavet

Den mesopelagiske faunaen i det nordøstlige Atlanterhavet (fig. 10) er ganske godt kjent, i alle fall fra et kvalitativt synspunkt. De fleste data fra dette området kommer fra plankton

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

nett samlinger (J. Gjøsæter, 1980). De fleste forskningstoktene i dette området har blitt foretatt rundt øygruppen Azorene. En av de mest omfattende forskningstoktet rundt Azorene ble utført av Julian Badcock og Nigel Merrett i 1977 (fig. 9). De trålte horisontalt i dybdeområdet mellom 10- og 1000 meter, med en liknende trål (RMT 8 – Regular Midwater Trawl with 8 nets) som står beskrevet under «Mocness trål» lengre oppe i kapittelet. I dette området estimerte de en biomasse på mellom 1,1 – 1,7 g/m². Se tabellen under (fig. 9) for detaljerte data (J. Gjøsæter, 1980).

Abundance estimates derived from trawl surveys in the Northeast Atlantic

Area	Gear	Author	Estimated biomass g/m ²	
E. Azores	40°N 20°W	RMT 1+8	Badcock and Merrett, 1977	1.1
	53°N 20°W	RMT 1+8	Badcock and Merrett, 1977	1.5
	60°N 20°W	RMT 1+8	Badcock and Merrett, 1977	1.7

Figur 9 *Badcock og Merrets forskningsekspedisjon rundt Azorene i 1977* (J. Gjøsæter, 1980).

Det gjøres store satsinger på prøvefiske og biomassemåling i dette området i dag, men grunnet store investeringer og konkurranse for å få et kommersiell fiske i dette området vil de fleste data ikke bli offisielt publisert.



Figur 10 *Det nordøstlige Atlanterhavet* (Google-Maps, u.d.)

3.7.3 Omangulfen

Det ble utførte en rekke målinger i Omangulfen (fig. 11) av blant annet det norske forskningsskipet R/V Dr Fridtjof Nansen i perioden 1975 – 1983. Den klart dominerende arten i dette området er *Benthosema pterotum*, som er en fisk i lysprikkfamilien. Den eneste andre arten som det ble fanget betydelige mengder av var *Paralepididae*. Det totale estimatet fra disse ekspedisjonene varierte mellom 8 og 20 millioner tonn, innenfor et område på ca. 22 000 nm² på både den iranske og omanske siden av gulfen (FAO, 2001). I følge gruppens kontaktperson ved Havforskningsinstituttet ansees dette området som å ha en av de høyeste biomasse-konsentrasjonene i verden (Klevjer, 2017).



Figur 11 Omangulfen (Google-Maps, u.d.)

3.7.4 Nordøst i Stillehavet

Et område hvor det nylig er blitt gjort en del målinger og beregninger er Stillehavet utenfor California (fig. 12). I rapporten «Acoustic biomass estimation of mesopelagic fish: backscattering from individuals, populations, and communities» blir akustiske data og 125 trålprøver fra ekspedisjoner i områdene California Current Ecosystem (CCE) og North Pacific Subtropical Gyre (NPSG) analysert. Områdene ligger utenfor kysten av California: CCE ligger ganske nært kysten, mens NPSG ligger et stykke lenger ut i Stillehavet. Artene *Diaphus theta*, *Stenobrachius leucopsarus* og *Leuroglossus stilbius* er de mest vanlige i denne regionen, og det ble sett nærmere på blant annet de akustiske egenskapene til disse.

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

Gjennomsnittsfisken veide 0,8 gram ved CCE og 0,2 gram ved NPSG, mens medianen var på 0,12 gram begge stedene. Biomassen bestod av 64 % lysprikkfisk ved CCE, mens det var flest individer av artsgruppen *Cyclothone* (59 %). Ved NPSG hadde artsgruppen *Cyclothone* både størst antall og total biomasse. Undersøkelser viste at totalt 58 % av fisken hadde svømmeblære ved CCE, mens verdiene for NPSG var 79 %. Mengdene fisk var klart størst for fisk med en lengde under 30 mm, men disse utgjorde bare 6 % (CCE) og 25 % (NPSG) av den totale biomassen i områdene. De totale anslagene for antall fisk er ganske lik for CCE og NPSG, med et forhold på 0,9 (CCE/NPSG), mens den totale biomassen var ganske mye større ved CCE med et forholdstall på 3,8 (CCE/NPSG). Temperaturen ved begge stedene var 5,2 °C ved 600 meters dybde, mens det ved 300 meter var 9,7 °C og 7,6 °C ved NPSG og CCE (Davison, et al., 2015).

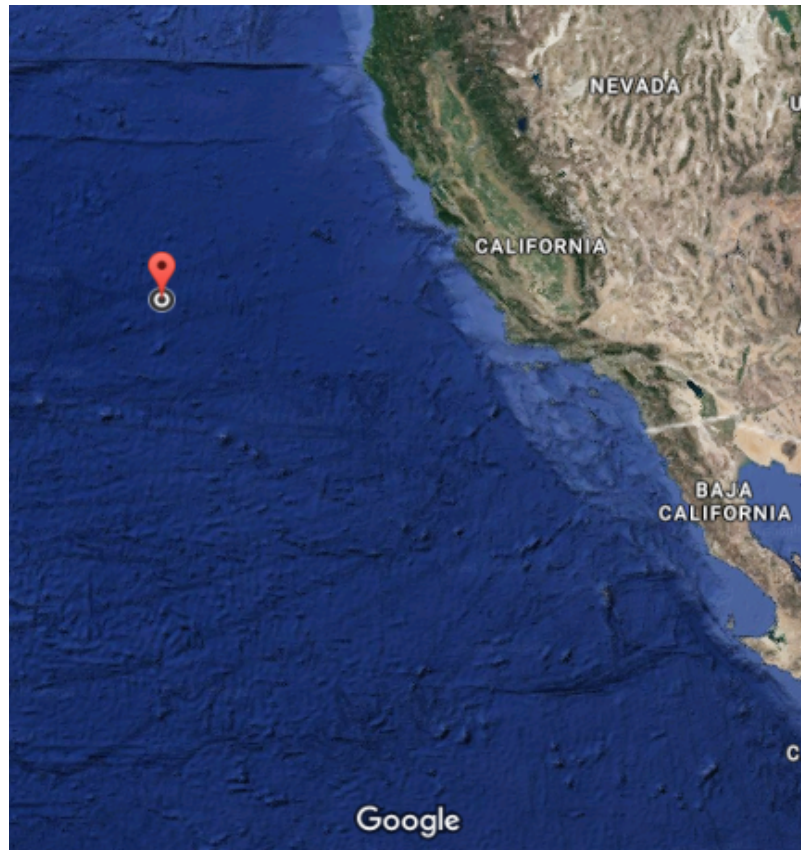
Data fra trålfangsten ble både brukt til å forbedre beregningsgrunnlaget til de akustiske målingene og til å utføre egne beregninger ut fra trålfangst samt faktorer for unnvikelse og effektivitet. Uten å kompensere for disse faktorene ble biomassen beregnet til 4,2 g/m², vesentlig mindre enn målingene basert på akustiske data. Med faktorene ble resultatet vesentlig høyere: 36,9 g/m² (Davison, et al., 2015).

Beregningene som var basert på akustiske data gav en gjennomsnittlig biomasse på 25 g/m², med litt større verdier om dagen enn om natten. Når biomasseanslagene basert på akustiske data ble sammenliknet med tråldata for deler av seilasene fant man lite eller begrenset sammenheng mellom de to. Verdiene som ble beregnet med unnvikelses- og effektivitetsfaktorer var sammen med de akustisk-baserte beregningene i en størrelsesorden som stemmer relativt greit overens med det globale estimatet som ble beregnet ut fra Malaspina 2010 ekspedisjonen, og støtter dermed opp rundt dette fremfor de eldre beregningene for områdene (Davison, et al., 2015). Dataene stemmer også godt overens med data som ble beregnet i et område utenfor Tasmania i 1997, hvor resultatet var 30 g/m² (Koslow 1997 (Davison, et al., 2015)). Resultatet fra trålberegningene som ble utført uten å kompensere for unnvikelse og effektivitet stemmer overens med tidligere, mer konservative beregninger for området.

Det kan være vanskelig å forstå hvor store disse biomassene er, og kanskje er biomassemålinger fra Stillehavet av liten interesse for norsk industri, men rapportene fra disse målingene gir også informasjon om hvilke utfordringer som finnes med biomassemålinger av mesopelagisk fisk. De to områdene hvor målingene ble foretatt er relativt nært hverandre geografisk, men det var store forskjeller i bestandene. Som nevnt tidligere var det store forskjeller i størrelsen på fiskene som ble fanget ved CCE og NPSG,

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

men også andelen av fisk med svømmeblære var betydelig høyere ved NPSG (Davison, et al., 2015). Kombinasjonen mellom artssammensetning og størrelsesfordeling påvirker begge hvor stor andel av bestanden som har en gassfylt svømmeblære (Ref. Kap. 6.2.2 og 6.2.3) og gir en pekepinn på hvor viktig det er å ha tilstrekkelig kunnskap om lokale bestander før man kan beregne troverdige biomasseanslag ut fra akustiske data.



Figur 12 Nordøst i Stillehavet (Google-Maps, u.d.)

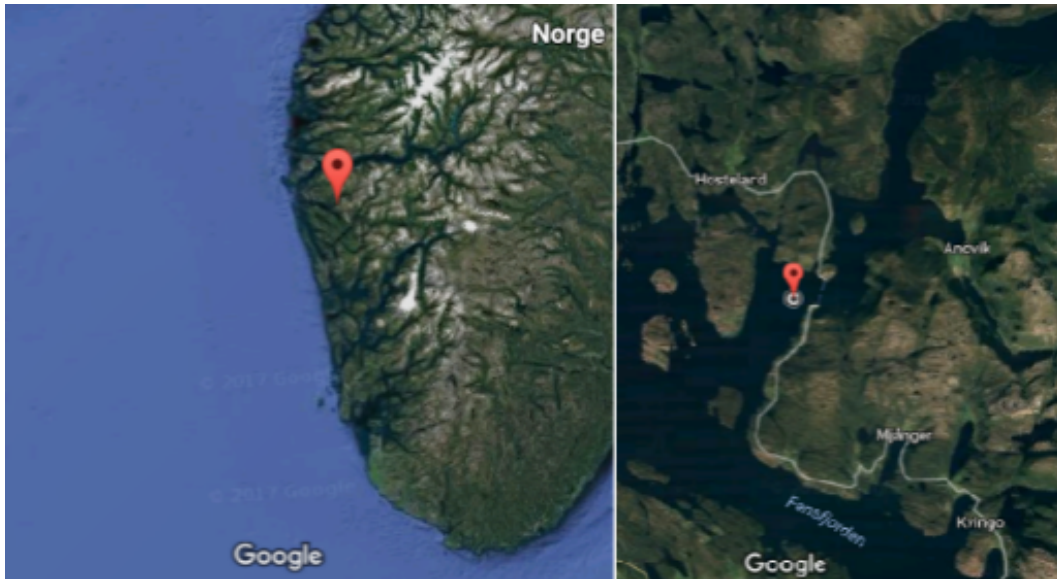
3.7.5 Masfjorden, Norge

Masfjorden (fig. 13) er en fjord lokalisert i Hordaland fylke i Norge. Fjorden er 25 km lang, 400 meter dyp og omringet av fjell på begge sider. Fjellene skaper skygge og fører til spesielt mørke lysforhold nedover i vannsøylen. De dype vannmassene under 60 meter dybde er homogene, som betyr at eksogene faktorer som temperatur og salinitet er stabile (Dypvik, 2010).

Det har ved flere undersøkelser blitt stadfestet at det finnes store mengder mesopelagisk fisk i denne fjorden. Den dominerende arten i området er lysprikkfisk (*Benthosema glaciale*). Fjorden er med sine rolige og homogene vannmasser attraktiv for forskning på mesopelagisk

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

fisk (Dypvik, 2012). Noen eksakte biomasseestimer har ikke blitt satt grunnet fjordens begrensede størrelse. Fjorden er et godt eksempel på hvilke mengder mesopelagisk fisk som lever i Norges mange fjorder.



Figur 13 Masfjorden, Norge (Google-Maps, u.d.)

3.8 Utnyttelse av biomasse

Utbredelsen av mesopelagisk fisk er verdensomspennende, og det finnes arter i alle verdens hav (Klevjer, 2017). Generelt sies det at det finnes større mengder ved områdene mellom 40° nord og 40° sør enn hva det gjør i de kjøligere områdene nærmere polene, men dette begrepet stammer stort sett fra begrensningene for Malaspina 2010 ekspedisjonen (Irigoién, et al., 2014). Det som kan sies ganske sikkert er at det forventes å være større tetthet i mer produktive områder, som i såkalte upwelling-system. Upwelling-system er områder hvor geografi, vind og strømforhold fører næringsrikt vann fra dypet opp mot overflaten. Forholdene i slike system skaper et næringsrikt miljø, med potensial til en høyere primærproduksjon enn gjennomsnittet i havet (NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (USA), u.d.).

Estimer for bestanden i Nord-Atlanteren sies å være for små til å kunne gjøre et kommersielt fiskeri lønnsomt med bruk av dagens fangstteknologi. I en rapport laget for Nordic Council of Ministers i 2008 blir det sagt at den gjennomsnittlige biomassen i disse havområdene stort sett er mindre enn 1 gram per kubikkmeter sjøvann, og at det kreves verdier over 25 gram per kubikkmeter for å gjøre et kommersielt fiske på bestanden lønnsomt (Lamhauge, et al., 2008). Disse verdiene er relativt usikre, og det kommer

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

sannsynligvis til å bli mer prøvofiske i årene fremover. Først når prøvofisken er gjennomført med nyutviklet og tilpasset fangstteknologi kan det sies noe om mengdene er store nok til å fiskes kommersielt. Havforskningsinstituttets «Mesopelagisk initiativ», som er et forskningsinitiativ, har blitt startet med bakgrunn i troen på mulighetene til å utvikle ett storskala, bærekraftig fiskeri etter mesopelagisk fisk i nær fremtid (Hauge, 2016). En av deres viktigste målsetninger som skal legge grunnlaget for et slikt fiskeri er lokaliseringen av de største forekomstene (Klevjer, 2017). Selv om man på generelt grunnlag ofte snakker om mengder knyttet opp mot breddegrader og store geografiske områder, er det store lokale forskjeller som gjør at det enkelte steder finnes store forekomster som avviker fra regionale biomasse estimater. Temperatur, lysgjennomtrengning, dybde, pH-verdi og salinitet er faktorer som har eller kan ha en innvirkning på lokal biomasse, og disse kan variere stort på forskjellige steder i verden, også innenfor samme breddegrad (Irigoién, et al., 2014). Av disse antas det at virkningen av salinitet er av mindre betydning, mens temperatur kan ha en viktig effekt ettersom det også påvirker primærproduksjonen i et område. Lysforhold kan også være forskjellig på ulike steder i havet, og dette påvirker fiskens adferd. Områder med spesielt høye konsentrasjoner, såkalte «hotspots», kan for eksempel også være gyteområder, eller områder med mer gunstige temperaturer som følger av havstrømmer. Per i dag finnes det ikke særlig mye kunnskap om fiskens gyteaktivitet, hverken hvor ofte eller hvor den gyter, men det antas at det også her er forskjeller i de ulike bestandene (Lamhauge, et al., 2008). Utviklingen av ny trålteknologi og videre forskning på fiskens døgnvandring kan i fremtiden også skape muligheter i områder med lavere biomassetetthet.

4 Fiskearter og næringsinnhold

4.1 Fiskearter

For enkelhets skyld har det blitt valgt å kun se nærmere på noen få av de 273 registrerte mesopelagiske fiskeartene. Lysprikkfiskfamilien og laksesild er de mest vanlige og tallrike artene i farvannene nært Norge, og vil nok være av stor betydning dersom det en gang lykkes med å utvikle et mesopelagisk fiskeri i norske farvann (Pethon, 2005), gruppen har derfor valgt å se nærmere på disse.

4.1.1 Laksesild

Fiskesorten laksesild (*Maurolicus muelleri*) (fig. 14), er en del av perlemorfiskfamilien (*Sternoptychidae*) og tilbringer mesteparten av sitt liv i det mesopelagiske havsjiktet. Som de andre medlemmene av perlemorfiskfamilien har den store øyne og munn, store løstsittende skjell, sammentrykt kropp og tydelige lysorganer. Den kan befinne seg på dybder helt fra havoverflaten og ned til 1500 meters dyp, men er oftest å finne på dyp mellom 100 og 500 meter. Fisken kan bli opptil 7,6 cm lang har en levealder på inntil 4 år. Dens utbredelse strekker seg over store deler av det nordlige Atlanterhavet, fra 5° sør til de vestlige deler av Barentshavet i nord samt Maine-golfen (Gulf of Maine), farvannene ved Magellanstredet, det sørvestlige Stillehavet, Mexicogolfen og Det karibiske hav. I tillegg til de oseaniske områder finnes det også isolerte bestander i dype fjorder og kystnære strøk. Laksesild livnærer seg i hovedsak på pelagiske krepsdyr som hoppekreps (*Calanus*) og krill (*Meganctiphanes*). Kjønnsmodenhet forekommer etter ett år og hver hunnfisk kan gyte mellom 200 og 500 egg hvert år. Egg og yngel fra laksesild er pelagisk (Pethon, 2005).



Figur 14 Laksesild (Fiskeslag, u.d.)

4.1.2 Lysprikkfisk

Lysprikkfiskfamilien (*Myctophidae*) omfatter omtrent 235 arter (2005) og har medlemmer i alle hav. I norske farvann er det funnet fem arter: Nordlig lysprikkfisk (*Benthosema glaciale*) (fig. 15), stor lysprikkfisk (*Notoscopelus kroeyeri*), kjempelysprikkfisk (*Lampanyctus crocodilus*), brun lysprikkfisk (*Lampanyctus macdonaldi*), liten lysprikkfisk (*Myctophum punctatum*) og nordatlantisk lysprikkfisk (*Protomyctophum arcticum*). Størrelsen på de ulike artene varierer: Den minste arten i norske farvann er nordatlantisk lysprikkfisk, som kan bli opptil 6 cm lang. Den største er kjempelysprikkfisk, som kan bli opptil 30 cm lang. Alle artene har sammentrykt kropp, store øyne, stor munn med kjeveben som går bakenfor øyet, store løstsittende skjell og små lysorganer i rekker. De største bestandene er pelagisk, men finnes også grupper i dype fjorder og langs kontinentalsokkelen. Den antatt mest tallrike lysprikkfiskarten i nordiske farvann er nordlig lysprikkfisk. Denne har en levetid på opptil 8 år og blir kjønnsmoden etter 2 – 3 år. Når den er kjønnsmoden kan den legge mellom 160 og 1950 egg i året (Pethon, 2005) (Vøllestad, 2012).



Benthosema glaciale

Figur 15 Nordlig lysprikkfisk (*Benthosema glaciale*) (Costa, u.d.)

4.2 Næringsinnhold og bruksområder

Fisket etter mesopelagisk fisk vil nok ha lite for seg hvis man ikke klarer å finne et bruksområde for fisken. Fiskens størrelse og det at forråtnelsesprosessen begynner svært raskt etter den er tatt om bord gjør at den er mest egnet til å bearbeides. Ved å bearbeide produktene kan de brukes i forskjellige fiskeprodukter som kanskje kan brukes til menneskelig konsum. Først må man gjennomføre en rekke kjemiske prøver som evaluerer produktet og dets innhold for å dokumentere at fisken oppfyller kravene til Mattilsynet. Dersom den inneholder giftige eller uønskede stoffer kan dette måtte skilles ut, slik som det blir gjort med krill i dag (Grimaldo, 2017). Dersom bifangst av krill (som kan være i samme størrelsesorden) er uunngåelig vil dette kunne medføre at krill og mesopelagisk fisk må prosesseres sammen, og da blir det hele enda mer komplisert. Et bruksområde som det kan tenkes at ikke er avhengig av disse faktorene er bruk til produksjon av ensilasje. Produksjon av fiskeolje og –mel krever mer kunnskap om hvilke egenskaper fisken har til dette formålet. SINTEF utførte i samarbeid med Br. Birkeland AS flere tester for å se nærmere på massebalanse (hvor mye olje, vann og grakse man kan skille ut). Resultatene fra disse forsøkene er en bedriftshemmelighet, men de skal ha funnet et effektivt enzym som klarte å skille ut større mengder olje enn andre enzymer som ble forsøkt. De kjørte også analyser av hvilke aminosyrer som var i fisken. Artene fanget på dette toktet var 44 % nordlig lysprikkfisk, 40 % laksesild og resten var andre arter fra lysprikkfamilien (Grimaldo, 2017).

5 Undervannsakustikk

Flere av utfordringene man står ovenfor med tanke på å etablere et fiskeri etter mesopelagisk fisk er knyttet til undervannsakustikk. Med undervannsakustikk menes den typen teknologi som eksempelvis brukes til å lete etter og detektere fisk, samt utføre biomassemålinger.

For oppgavens helhet og forståelse anses det som nødvendig å presentere noen sentrale elementer og grunnleggende begrep innen undervannsakustikk.

5.1 Historie og utvikling

5.1.1 Kort historie

Det hele går tilbake til 1490-tallet og Leonardo da Vinci: Det fortelles at Leonardo da Vinci observerte lyder fra fjerne skip ved å lytte med et rør i vannet. Dette var trolig begynnelsen på det man i dag kjenner som undervannsakustikk. Siden den gang har mye skjedd og den teknologiske utviklingen har vært stor. Lydhastigheten i vann ble først kjent i 1827, og ble da kjent til å være ca. 1450 m/s (senere ca. 1500 m/s). Det neste store steget innen utviklingen av hydroakustikk skulle etter hvert vise seg å bli veldig viktig. Dette var oppfinnelsen av det piezo elektriske element, som ble utført av de franske fysikerne Jacques & Pierre Curie i 1880. Oppfinnelsen skulle som sagt vise seg å bli veldig viktig, ettersom elementet i dag er nærmest enerådende som lydkilde i undervannsakustikk. Det gikk så noen år før utviklingen virkelig skjød fart, under 1.verdenskrig, da muligheten til å detektere undervannsbåter ved hjelp av lyd ble oppfunnet. Det militære bruksområdet førte til stor interesse og mye fokus på undervannsakustikk, som igjen førte til utviklingen av elektriske svingere. På grunn av utstyrets daværende hovedbruksområde oppstod benevnelsen ASDIC (Allied Submarine Detection and Investigation Committee), en benevnelse som lenge var benyttet, men som i senere tid er mer eller mindre erstattet av benevnelsen SONAR (Sound Navigation And Ranging) som betraktes som mest korrekt (Kjerstad, 2015).

5.1.2 Hvordan opererte fiskerne før ekkoloddet ble oppfunnet?

Det var hovedsakelig to hjelpemidler som fiskerne hadde tilgjengelig før ekkoloddet ble oppfunnet, dette var det man kalte for håndloddet og patentloddet.

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

Håndloddet (fig. 16) var et lodd på 3 – 6 kg, gjerne med en liten fordypning under. Til loddet var det festet en line hvor dybden kunne avleses eksempelvis med merker på linen. Erfarne brukere kunne blant annet benytte dette til å avgjøre størrelsen på en fiskestim (Kjerstad, 2015).



Figur 16 *Håndlodd med dybdemerker på linen* (Kartmuseum, u.d.)

Det var først i 30-årene at fiskere begynte å fatte interesse for ASDIC, og den første kjente installasjon av ekkolodd i den norske fiskeflåten fant sted i 1934. Installasjonen var den gang en stor investering og det måtte monteres et eget 110 Volt aggregat for å kunne drive loddet. Den første installasjonen av ASDIC ble gjort i 1952 om bord i snurperen *Ramoen* (fig. 17). Siden den gang har det skjedd en enorm forbedring og utvikling av så vel svinger teknologi som signal- og bildebehandling (Kjerstad, 2015).



Figur17 *Snurperen Ramoen* (Simrad, u.d.)

Utviklingen har i de senere årene delt seg i tre hovedgrupper:

- Militære system
- Offshore og survey
- Fiskerisystem

Fiskerisystem vil være det mest omtalte i denne oppgaven, og omhandler: Fiskeleting og navigasjon, biomassemålinger og akustiske sensorer på fiskeredskap (Kjerstad, 2015).

Etter store teknologiske fremskritt i undervannsakustikken står man fortsatt igjen med en stor begrensning – mediet (vannet) som lyden skal gå gjennom. Sjikt med forskjellig tetthet etc. skaper fortsatt adskillig usikkerhet og begrensninger i vår mulighet til å forutsi lydens utbredelse (Kjerstad, 2015).

5.2 Utbredelse av akustiske bølger

Til undervannsformål benyttes lyd og ikke elektromagnetiske bølger eller lys, grunnen til dette er at elastiske bølger slik som lydbølgene er utsatt for langt mindre demping ved gange gjennom medium med stor tetthet, slik som vann (Kjerstad, 2015).

Man kan generere akustiske bølger ved å plassere en flate mot vannet for deretter å sette flaten i svingninger. En slik pulserende grenseflate kan man kalle for en svinger. Svingere

med forskjellig utforming vil gi forskjellig bølgeforplantning. Trykket (p) foran flaten vil da pulsere etter en cosinusfunksjon: $p = p_{\max} \cos(2\pi ft + \varphi)$

$P =$ Akustisk trykk [mPa]

$P_{\max} =$ Maks akustisk trykk [mPa]

$f =$ Frekvens [Hz]

$t =$ Tid mellom trykk [sek]

$\varphi =$ Faseforskyvning/Fasevinkel [$^{\circ}$]

(Kjerstad, 2015).

Blant sonarsystemer er pulsbasert utsending det mest brukte, dvs. at den utsendte frekvensen sendes i pulser med et gitt intervall. Intervallet kalles puls repetisjonsfrekvens eller pingrate (PRF) og sier noe om hvor langt det er mellom pulsene. Lengden på hver puls kalles pulslengde (τ). Pulslengden vil igjen ha stor betydning for systemets evne til å kunne skille ekko i dybderetningen (vertikalt). Skilleevnen vil da være gitt av $1/2$ pulslengden. Dette kommer av at pulsen må gå frem og tilbake. Skilleevne anses som svært viktig dersom man skal skille to eller flere mål som står relativt tett, f.eks. ved telling av fisk og ved biomassemåling. Ut fra formelen: $Skilleevne = \frac{1}{2} c * \tau = \frac{1}{2} * 1500 * 1 * 10^{-3} = 0,75 \text{ m}$
Hvor $\tau =$ pulslengde [s] og $c =$ utbredeshastighet til en akustisk bølge [m/s], ser man at redusert pulslengde vil gi bedre skilleevne (Kjerstad, 2015).

5.3 Transmisjonsforhold

5.3.1 Absorpsjon

Når man sender lyd gjennom vannet vil overføringsforholdene eller transmisjonsforholdene og ytelsen påvirkes av flere ulike faktorer. Man vil ha det man kan kalle for et transmisjonstap, hvor det totale transmisjonstapet betraktes som summen av spredetapet og absorpsjonstapet.

En del av den akustiske energien som sendes gjennom vannet vil bli absorbert og omdannet til varme. Absorpsjonen vil føre til at intensiteten til utsendt lydbølge blir redusert, og tapet vil øke eksponentielt med avstanden. Hvor mye av den utsendte energien som vil bli absorbert avhenger i stor grad av frekvensen, hvor en økning i frekvens vil gi økning i absorpsjon. Temperatur, salinitet, pH-verdi og trykk vil også være av en viss betydning. Det

sies at absorpsjonstapet vil øke raskere enn spredetapet, hvilket betyr at på lange avstander vil absorpsjon være kritisk. For å unngå for mye absorpsjon kan man redusere frekvensen – hvilket vil gi en lavere absorpsjonskoeffisient (Kjerstad, 2015).

5.3.2 Lydhastighet

Lydhastigheten er som sagt kjent til å være ca. 1500 m/s, men er ikke konstant og vil variere etter mediets tetthet, temperatur, salinitet, trykk, dybde, etc.

Økende temperatur vil normalt øke lydhastigheten, mens lydhastigheten gjerne vil avta som følge av avtagende temperatur og økende vann dybde.

Ved måling av dybde vil lyden måtte gå frem og tilbake fra svingeren, noe som fører til at dybden (D) vil være gitt av den målte tiden (t_m) etter formelen: $D = \frac{t_m \times c}{2}$, hvor c er utbredeshastigheten til en akustisk bølge, ca. 1500 [m/s] (Kjerstad, 2015).

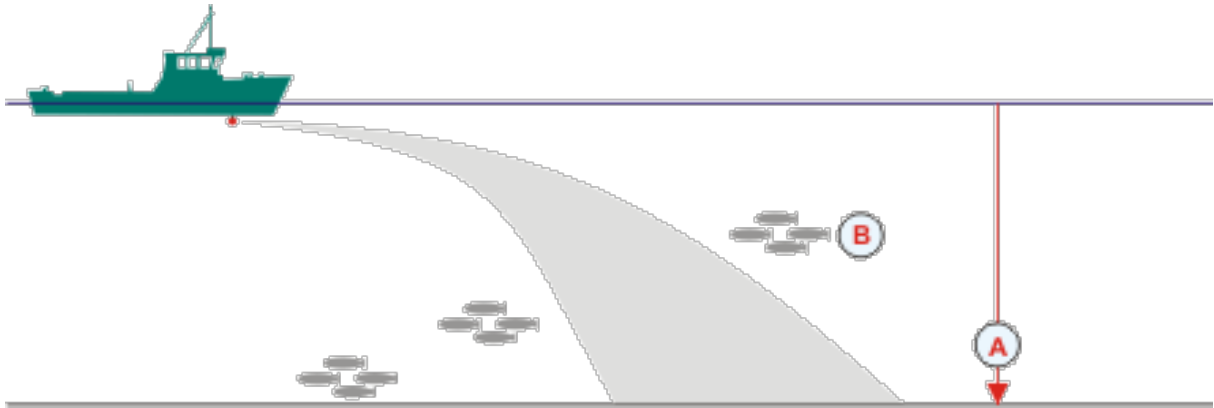
5.3.3 Lydbaneberegning

Avhengig av i hvilken utgangsvinkel lydstrålen sendes, i forhold til horisontalplanet og lydhastighetsprofilens gradient, vil banen til lydstrålen variere. Med gradient menes lydhastighetsforandring pr. meter, som funksjon av dybden. Ved en konstant gradient vil lydbanen følge en bue med konstant radius (rad), hvor radiusen er gitt av formelen:

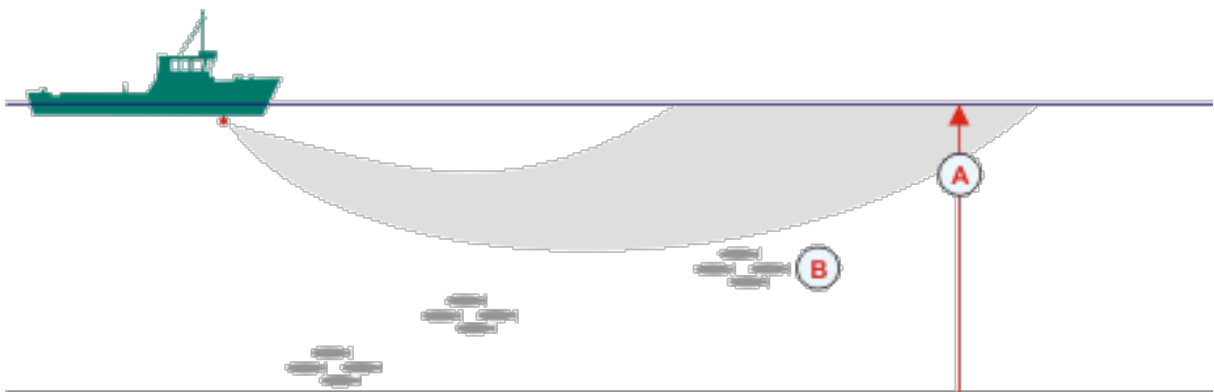
$$rad = -\frac{c(D)}{\cos\theta} \frac{1}{g}$$

hvor θ er lydstrålens vinkel til horisontalplanet (tilt), eller vinkel fra strålens akse [°].

En positiv gradient vil gi en bue som krummer oppover (fig. 19) og en negativ gradient vil gi en bue som krummer nedover (fig. 18). Eksempelvis ved en negativ gradient vil lydimpulsen ha størst hastighet i øverste del av strålen og dermed bli gradvis avbøyd helt til impulsen går rett nedover. Dersom impulsen går rett nedover vil hastigheten i både øvre og nedre del av strålen være lik. Man har da ikke lenger avbøyning av lydimpulsen. En avbøyning av lydimpulsen vil kunne føre til at strålen bommer på ønsket mål, eksempelvis en fiskestim (Kjerstad, 2015).



Figur 18 *Negativ gradient hvor lydstrålen bøyes nedover og man bommer på ønsket mål (fiskestim) (B), (A) illustrerer avtagende temperatur som funksjon av større dybde (Simrad, u.d.)*



Figur 19 *Positiv gradient hvor lydstrålen bøyes oppover og man bommer på ønsket mål (fiskestim) (B), (A) illustrerer økning i temperatur som funksjon av lavere dybde (Simrad, u.d.)*

5.3.4 Akustiske skygger

Akustiske skyggeparti er områder hvor man av flere ulike grunner ikke får inn ekko/mål fra et gitt sted, eller det kan være ekko som blir registrert på steder hvor de ikke skal være. Hovedgrunnene til akustiske skygger er:

- Lydbaneavbøyning på sonar.
 - Demping i målet er så stort at mål som ligger bak ikke reflekterer nok energi til å bli registrert.
 - Bunnekk kommer før målekk – umulig å skille mellom bunn og målekk.
 - Utflating av ujevnheter som følge av effekt fra strålens ytterkant og sideløber.
- (Kjerstad, 2015)

5.3.5 Målstyrke

Målstyrke eller ekkoefvne (TS – Target Strength) brukes for å beskrive et mål sin evne til å reflektere akustisk energi. Denne evnen er avhengig av målets spredetverrsnitt, σ , som vil være karakteristisk for hver enkelt fisk. Spredetverrsnittet for en fisk vil også være svært avhengig av innfallsvinkelen til lydbølgen.

Når et mål blir truffet av en lydimpuls vil den akustiske lydenergien reflekteres i flere retninger. For oppgavens formål er det mest interessant å se på den energien som reflekteres tilbake til sender/mottaker, det er dette som defineres som reflektert intensitet. Hvor mye energi som reflekteres vil avhenge av forholdet mellom mediets (vannet) og målets (fisken) tetthet. Dersom målet er luft vil man få tilnærmet total refleksjon. Altså jo større forskjell i tetthet mellom mediet og målet, jo bedre refleksjon får man. Det er nærliggende å tro at en fisk gjerne har tilnærmet samme tetthet som vann og følgelig ikke reflekterer noe nevneverdig energi. De fleste fisker har imidlertid en gassfylt svømmeblære som vil sørge for 70 – 90 % av den totale refleksjonen fra fisken. Fiskekjøttet som vil representere ca. 70 % av det totale volumet tilsvarer bare ca. 2 % av målstyrken. Målstyrken til en fisk er veldig viktig å kjenne når man skal størrelses og bestands estimere fisk. Hvor i strålen fisken ligger er også av betydning for den innfallende intensiteten, ligger den i den akustiske aksens (sentrum av strålen) fra svingeren, eller ligger den eksempelvis i ytterkant av strålen? Dette betyr også at målstyrken til fisken vil kunne variere med frekvensen. En annen faktor er fiskens aktivitet og aspekt (vinkel mot ryggen) som også vil være av betydning. Alt i alt vil man kunne si at forskjellig type fisk vil kunne gi forskjellig akustisk signal (Kjerstad, 2015).

5.3.6 Resonans

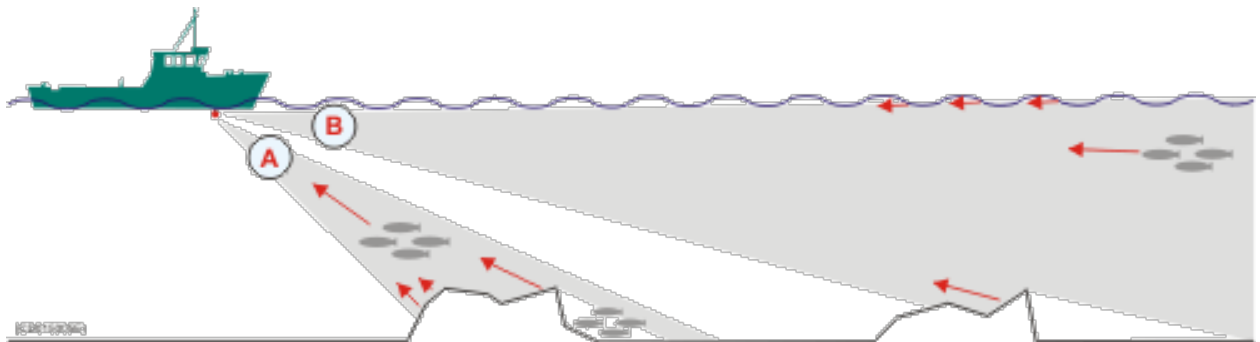
Resonans er gjenlyd eller gjenklang og omtales gjerne som det fenomenet at et system eller en gjenstand vil oppta energi og komme i sterke svingninger når den påvirkes av en periodisk kraft som virker med samme frekvens som systemets eller gjenstandens egenfrekvens (Store Norske Leksikon, 2012). Alle gjenstander kan vibrere eller svinge, og har en frekvens hvor de fortsetter å svinge av seg selv når svingningene først er satt i gang. Denne frekvensen kalles egenfrekvens og omtales også gjerne som resonansfrekvens (Skolediskusjon, u.d.). Resonans er ikke utelukkende et emne som omhandler gjenstander og system, men vil også være aktuelt for forskjellige organismer, også med hensyn på akustikk til deteksjon av fisk. I undervannsakustikken er det slik at fiskens gassfylte svømmeblære kan komme inn i et område med resonans. Om dette forekommer eller ikke bestemmes av forholdet mellom svømmeblærediameteren til fisken og bølgelengden på den utsendte frekvensen, for

eksempel på 38 kHz. Dersom organismen kommer i resonans og opptar energi så kan ekkoet fra fisken forsterkes 10 – 100 ganger og derav bli svært mye høyere/kraftigere enn det vil være utenfor resonans. Dette fenomenet vil av den grunn være av stor betydning med hensyn til akustiske målinger og vil blant annet kunne påvirke målstyrken til fisken (Ona, 2017).

5.3.7 Støy

Lydbildet under vann vil være preget av en rekke «uønskede» lydkilder som vil kunne være av betydning for undervannsakustisk instrumentering. Noen av støykildene er blant annet støy fra bølger og vind som er relativt lavfrekvent og hvor nivået er avhengig av sjøtilstanden. Man har termisk støy som skyldes molekylbevegelsen i vannpartiklene. Fartøy generert støy er støy fra eget eller andre fartøy. Den dominerende kilden til fartøy generert støy er propellen. Støy fra fiskeredskap (trål) kan også forekomme. Akustisk interferens med andre sonarer kan oppstå dersom flere fartøy i samme område benytter sonarer med samme frekvens eller frekvensområde. De fleste kjenner til at de marine pattedyrene kommuniserer med lyd, men at også andre marine organismer kan skape akustisk støy er relativt ukjent. Denne typen støy er det man kaller biologisk støy. Denne formen for støy vil imidlertid ikke være kritisk for fiskeleting (Kjerstad, 2015).

I tillegg til de formene for støy som er beskrevet ovenfor vil man også ha mottager støy. For å kunne motta ekko fra en utsendt puls må den reflekterte energien fra målet være høyere enn nivået på støyen. Med andre ord må signal-/støyforholdet (SNR) være bedre enn 1. Reverbasjon (etterklang) er også noe som kan forekomme (fig. 20). Reverbasjon er en betegnelse på ekko fra uønskede mål som kan komme fra havbunnen, overflaten, større volumer med plankton eller turbulente strømminger (Kjerstad, 2015).



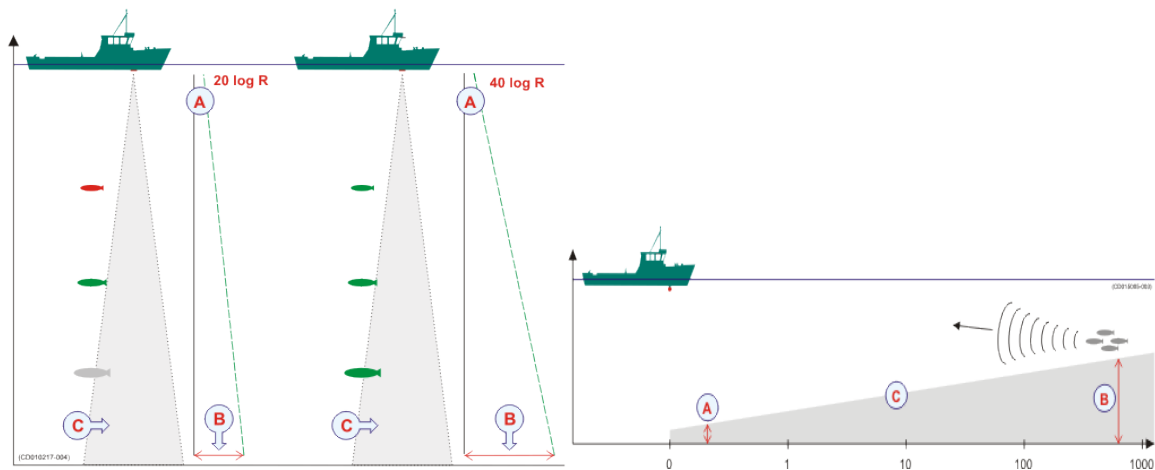
Figur 20 Man ser her et eksempel på reverbasjon. I situasjon (A) vil man kunne identifisere den øvre fiskestimen, mens den nedre stimen ligger i skygge fra steinen på havbunnen. I situasjon (B) vil man få inn flere svake ekko fra bølger i overflaten samt svake ekko fra steinen på havbunnen. Man vil likevel kunne detektere fiskestimen (Simrad, u.d.)

5.4 Akustisk instrumentering

Sonarsystemet (inkl. ekkolodd) er generelt sett bygget opp av en sender, som tar utgangspunkt i en tidsreferanse og produserer en høyenergi puls med en gitt frekvens som er tilpasset bruksområdet (lav frekvens gir mindre demping og følgelig større rekkevidde og penetrasjonsevne). Svingeren sender ut pulsen som reflekteres av ulike mål. Den reflekterte energien kommer tilbake til en mottager som tar imot og forsterker signalet som vises som et ekkogram på et display, som også kommuniserer med tidsreferansen. Ved hjelp av fargekoding på displayet kan man skille ekko med forskjellig styrke fra hverandre (Kjerstad, 2015).

5.4.1 Kontroller

På både ekkolodd og sonar har man mange ulike kontroller som vil være svært gode hjelpemiddel når man skal tyde det bildet man får opp på displayet. Disse kontrollene kan være forskjellige filtre, forsterkning (gain), områdevelger (range), fasevelger, justering av pulslengde, TVG-kontroll, effekt og frekvens justeringer, etc. (Kjerstad, 2015). Eksempelvis er TVG (Time Variable Gain) en kontroll som automatisk forsterker de ekkoene som er lengre borte mer enn de ekkoene som er nærmere, ettersom et ekko vil bli svakere som funksjon av økende avstand (fig. 21). I praksis betyr dette at gain vil øke i forhold til hvor lenge sonaren/ekkoloddet må vente på det reflekterte ekkoet (Simrad, u.d.).



Figur 21 TVG

Gain på tidspunkt (B) er større enn på (A). Man benytter funksjonen « $X \log R$ » for TVG verdier, hvor en høyere verdi for « X » vil gjøre strålebredden/vinkelen (C) bredere/brattere. Normalt sett benyttes funksjonen $20 \log R$, men for å øke deteksjon på lengre avstand kan man også benytte funksjonen $30 \log R / 40 \log R$ (Simrad, u.d.) (Simrad, u.d.)

5.4.2 Svingeren

Det er svingeren (eng. transducer) (fig. 22) som omformer elektriske impulser til en lyd puls (ping) og omvendt slik at en lyd puls blir til et elektrisk signal. Svingeren er derav et svært viktig element i det akustiske anlegget (Kjerstad, 2015).



Figur 22 Man ser her to eksempler på utformingen av en svinger, med forbehold om at utformingen ikke behøver å ha en rund form (Simrad, u.d.)

Utstrålingskarakteristikken avhenger av svingerens oppbygning og er beskrevet av et strålingsdiagram. Fra den utsendte pulsen vil man ha en hovedlobe hvor det er god registrering av mål, i tillegg vil man ha flere sidelober hvor svingeren ikke har nok følsomhet til å registrere alle mål, men kun de målene med stor målstyrke. Man ser av ulike beregninger at første sidelobenivå er 13 dB lavere enn i senter av strålen. Dette vil si at første sidelobenivå er ca. 1/20 av nivået i hovedlobens akse. Nivået på sideloben kan ved hjelp av spesiell oppbygning reduseres i forhold til det teoretisk beregnede nivået (Kjerstad, 2015). Ved telling av fisk for integrasjon av en biomassekalkulasjon kan det være aktuelt å stabilisere svinger i vertikalplanet for å kompensere for skipets rulle-bevegelser. Hvis skipet da ruller kraftig og man har en smal stråle, vil en fisk muligens bli talt flere ganger avhengig av rulleperioden, noe som fører til at tellingen følgelig blir feil. For å unngå denne typen feil, når det opereres med smal strålebredde kan svingeren eksempelvis gyrostabiliseres, slik at strålen alltid peker loddrett. Eventuelt kan man også benytte en svinger som gir en bred stråle i skipets tverrskips-retning (Kjerstad, 2015).

5.4.3 Plassering av svinger

Ytelsen til det akustiske systemet vil i stor grad være avhengig av plasseringen til svingeren. I hovedsak er det to problemer som kan oppstå. For det første kan turbulens og bobledannelse langs skroget absorbere mye av den akustiske energien, noe som begrenser rekkevidden. Dette er et problem som vil være avhengig av skipets form, lastekondisjon,

begroing og rulle/stampe-egenskaper. Det andre hovedproblemet er støy fra skipets maskineri og propellanlegg. Den ideelle plasseringen av en svinger vil følgelig være der summen av de to ovenfor nevnte problemene har sitt minimum. Dette punktet er ikke konstant og vil flytte seg i forhold til skipets bevegelse, trim og maskineriets ytelse. De verste forholdene får man gjerne når skipet stamper. Man får da særs mye turbulens og luft under skipet. Nedsenkbar akustikk er også en mulighet, hvor svingeren senkes ned for å unngå de to ovenfor nevnte problemene (Ref. Kap. 6.3) (Kjerstad, 2015).

5.5 Fiskerirelatert akustikk

5.5.1 Tolking av ekkogram

Det å tolke bildet som vises på ekkolodd displayet kan i noen tilfeller være krevende og man trenger gjerne et trent øye. Karakteristisk for en enkelt fisk eller en mindre stim når den kommer inn i ekkoloddets stråle er at den vil avtegnes som en omvendt «V» ettersom skipet passerer. Dersom det benyttes split-beam svinger vil man også være i stand til å registrere enkeltfisk på større dyp. Større konsentrasjoner og utbredelse av fisk vil imidlertid avtegnes som et jevnt slør (Kjerstad, 2015).

5.5.2 Sonde

I prinsippet er en sonde et helt ordinært ekkolodd hvor svingeren plasseres i nottaket på trålen. På sonden vil man kunne se trålens undertelne, fisken i og under tråløpningen og på bunnen. En sonde er et svært nyttig redskap for pelagisk tråling, hvor trålens åpning og ytelse til enhver tid vil kunne overvåkes, samtidig som trålen styres klar av bunnen og at man derav unngår tap av bruk som setter seg fast. Det finnes også dyrere sonder hvor svingeren erstattes av en avansert sonar (trålsonar) som kan presentere et 360° snitt av området ved trålens åpning. Både for en vanlig sonde og en mer avansert trålsonar er det vanlig å benytte noe høyere frekvens enn på konvensjonelt skrogmontert utstyr. Dette gjøres fordi svingeren kan gjøres mer kompakt og senderen mindre energikrevende. Ettersom trålen gjerne er mye dypere enn fartøyet og trålsonaren stort sett bare skal overvåke åpningen på trålen, vil det heller ikke være behov for samme rekkevidde som på skrogmontert utstyr (Kjerstad, 2015).

5.5.3 Sonar

I utgangspunktet er en sonar og et ekkolodd svært lik, hvor hovedforskjellen ligger i at på sonaren kan man styre lydstrålen i ønskede retninger og avbilde forekomster av fisk samt bunntopografi på et egnet display. Svingerenheten vil være relativt avansert på en sonar og enten være nedsenkbar fra en sjakt i skipets bunn eller plassert i en beskyttende væskefylt dome på undersiden av skroget. På sonardisplayet kan man legge inn grafisk informasjon knyttet til den typen redskap som benyttes i tillegg til skipets kurs og fart. Basert på avansert signalbehandling vil man også kunne få ut statiske data på fiskemengde og bevegelse på stim (Kjerstad, 2015).

5.5.4 Taktisk bruk av sonar under tråling

Ved tråling etter fisk er det viktig å kunne oppdage stimene så tidlig som mulig, slik at man kan styre skipet og trålen mot stimen. Etter at stimen er lokalisert på sonaren må dybden til stimen nøye overvåkes enten med vertikal modus på sonaren, eller med ekkolodd i det stimen passerer under skipet. Dette gjøres for å kunne holde trållåpningen i den samme høyden som stimen (Kjerstad, 2015).

5.5.5 Multistråle ekkolodd

Et multistråle ekkolodd kan sies å være en mellomting mellom en sonar og et ekkolodd, hvor systemet kan være basert på alt fra 3 – 5 stråler som enten er faste eller som kan konfigureres. For at systemet skal fungere optimalt må det være tilkoblet eget utstyr som stabiliserer strålen. Stabilisering av strålen skjer ved hjelp av VRU (Kjerstad, 2015).

Ved benyttelse av flere stråler vil man kunne dra nytte av «split-beam» funksjonalitet. Dette betyr at man vil kjenne fiskens posisjon i strålen og dermed kan kompensere for lavere målstyrke utenfor senter av strålen. Dette vil så kunne benyttes til å kalkulere størrelsen og størrelse sammensetningen på fisk som registreres. Slike beregninger vil kreve at ekkoloddet er tilkoblet et system for å kompensere for skipets bevegelser (satellittkompass eller MRU) (Kjerstad, 2015).

5.5.6 Fremtiden innen undervannsakustikk

Det er vanskelig å si hva fremtiden vil bringe av fremskritt innen akustisk havforskning. Det er mye som tyder på at man vil se vesentlige forbedringer. Dette vil i første omgang dreie seg om bedre presisjon og metoder for analyse av biomasse og arter. Videre mener flere eksperter at man ved hjelp av ny og bedre teknologi samt signalbehandling vil kunne måle

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

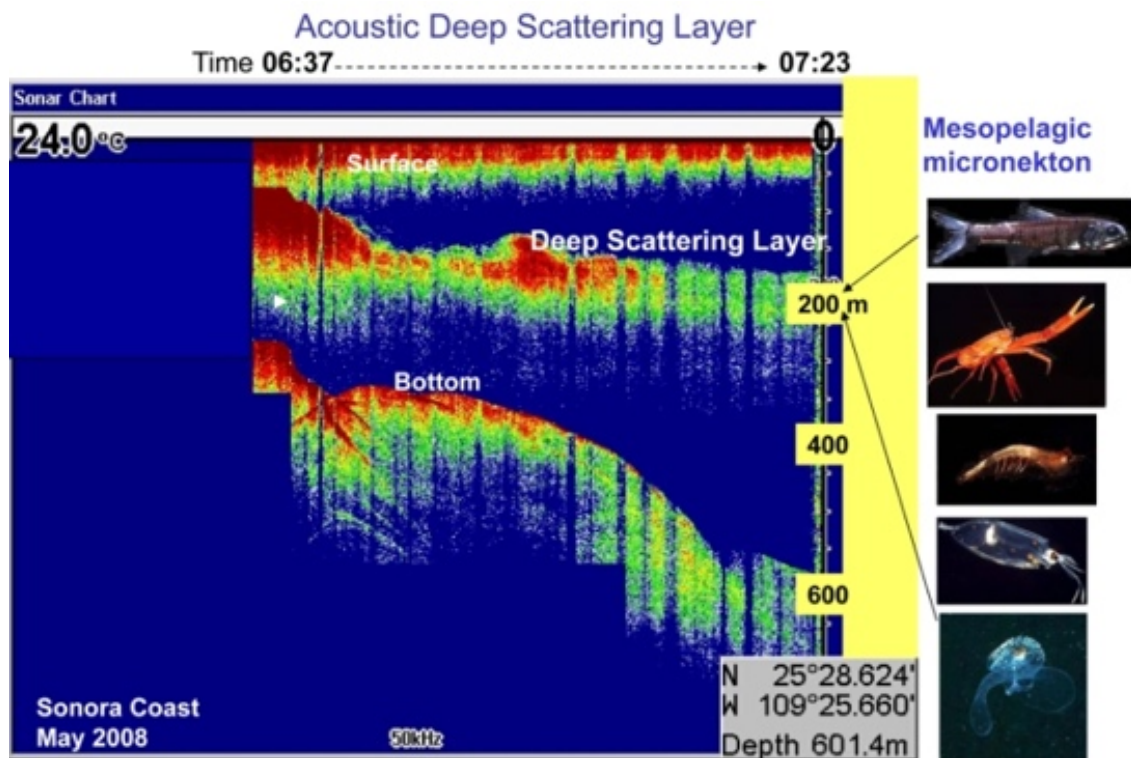
helt nye størrelser. Dette kan være mindre organismer som plankton og krill (Kjerstad, 2015).

6 Mesopelagisk undervannsakustikk

6.1 Oppdagelsen av mesopelagisk fisk

6.1.1 En falsk havbunn

Som nevnt tidligere var det først under andre verdenskrig at sonar ble tatt i bruk for fullt, da under benevnelsen ASDIC. Deteksjon av mesopelagisk fisk, som kan være et relativt nytt begrep for mange, kan spores helt tilbake til denne tiden. Under andre verdenskrig, ved hjelp av den nylig utviklede sonarteknologien, detekterte sonar operatørene det som så ut til å være en havbunn på dybden 300 – 500 meter om dagen, men som var nærmere overflaten om natten. Etttersom operatørene ikke kunne få denne dybden til å stemme med det som skulle være den reelle dybden på stedet, i tillegg til de vertikale forflytningene, ble det store spekulasjoner i hva dette ekkoet kunne være. Det solide ekkoet av den «falske havbunnen» skulle vise seg å være et tett lag bestående av millioner av organismer, inkludert fisk og zooplankton, som beveger seg opp i vannsøylen i skumringen for å spise på «mikroskopiske planter» som kun vokser på de dybdene hvor solstrålene klarer å penetrere gjennom vannet. På de dybdene hvor mesopelagiske organismer vanligvis holder til vil det være lite eller intet lys og det vil følgelig være svært mørkt. På månløst netter derimot har dette laget av organismer vist seg å forbli dypere, selv om organismene har vist seg å kunne reagere på skyer som passerer månen. Mange forskjellige arter inkludert maneter, blekksprut og krepsdyr er involvert i denne vertikale migrasjonen (Ref. Kap. 7), men det var i hovedsak mesopelagisk fisk som gav opphavet til ekkoet som sonar operatørene så. Grunnen til dette skyldes svømmeblæren til fisken som reflekterer svært mye energi. Den gassfylte svømmeblæren gjør fisken i stand til å finjustere dybden sin uten å bruke for mye energi. Fenomenet av den «falske havbunnen» ble først kjent som «ECR layer» hvor ECR var initialene til operatørene som oppdaget fenomenet. I senere tid er fenomenet mest kjent som deep scattering layer (DSL) (fig. 23) grunnet refleksjonen eller spredningen (scattering) av sonar signalet (Ryan, 2006).



Figur 23 Ekkogram som illustrerer ekko fra Deep Scattering Layer sammen med ekko fra den reelle havbunnen samt overflaten. (Holisticbiology, u.d.)

6.1.2 Gammel akustikk

På den tiden da de første oppdagelsene av DSL fant sted benyttet man det som i dag gjerne vil anses som «gammel akustikk». Man brukte da gjerne et ekkolodd med en dominerende frekvens på 12 kcy/sec, som tilsvarer 12 kHz. Den gassfylte svømmeblæren til mesopelagisk fisk skulle vise seg å være av en slik størrelse som gav resonans med lyd pulsene fra den «gamle akustikken» (12 – 24 kcy/sec) (Barham, 1966). Senere har mesteparten av de mesopelagiske ressursene i verden blitt kartlagt med ekkolodd som opererer på frekvensene 38 kHz og 18 kHz, som har (under gode forhold med hensyn til eksogene faktorer, korrekt montering og støyforhold) en rekkevidde på ca. 1000- og 1500 meter for tynne tettheter og noe lengre for kraftige tettheter (Ona, 2017).

6.2 Utfordringer ved måling av mesopelagisk fisk

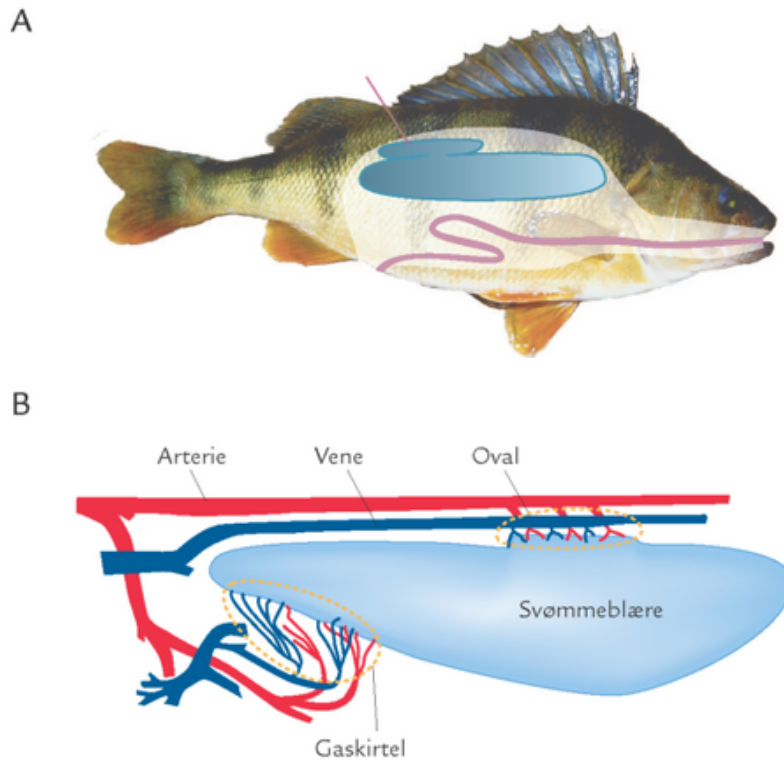
Man står ovenfor en hel del ulike utfordringer når det kommer til deteksjon og akustiske målinger av mesopelagisk fisk, hvor noen utfordringer er større enn andre. Flere av utfordringene vil mest sannsynlig kunne la seg løse, mens andre utfordringer har man ved dagens teknologi enda ikke en løsning på.

6.2.1 Konverteringsfaktor

En av utfordringene er blant annet hvilken konverteringsfaktor som skal benyttes ved biomassemåling. Ved tidligere forskning har det blant annet blitt gitt en del kritikk for at det kun har blitt brukt én faktor til å konvertere backscatter til biomasse. Det er altså slik at for hver enkelt fiskeart er det forskjellige konverteringsfaktorer som må brukes, hvor faktoren sannsynligvis varierer med størrelsen på fisken og er avhengig av både svømmeblære, fettinnhold og lignende. Det er enda usikkert hvilken faktor som skal benyttes for de ulike mesopelagiske artene og det vil derav være en god del utfordringer med dette (Klevjer, 2017).

6.2.2 Svømmeblære

Hos fisker er svømmeblæren et hydrostatisk organ formet som en gassfylt sekk (fig. 24). Ved regulering av gassmengden i svømmeblæren i forhold til vanntrykket, tilpasser fisken sin egen tetthet eller spesifikke vekt til den aktuelle dybden, slik at den hverken synker eller flyter opp, men har nøytral oppdrift (Åbro, 2011). Svømmeblæren er altså først og fremst knyttet til fiskens oppdrift, men som nevnt tidligere under emnene målstyrke og resonans, er svømmeblæren også av stor betydning for akustikken.



Figur 24 Illustrasjon av svømmeblære. A) Plasseringen av svømmeblæren hos en typisk beinfisk. B) detaljer.
Tegninger: Jørgen Strunge (Steffensen, 2006)

De vanligste typene av mesopelagisk fisk har lukket (physioclist) svømmeblære, slik som blant annet torsk, og må derav produsere gass inn i blæren, og slippe gass ut av blæren gjennom blodåresystemet, gasskjertel og oval. Dette er svært trege prosesser, som kan ta opptil flere timer, og av den grunn kan fisken derfor vanligvis ikke vandre opp og ned i vannsøylen raskt dersom den skal være nøytral med hensyn til oppdrift. Alternativet kan være å slippe ut gass (åpne oval) på vei opp, for så å gå ukompensert ned igjen om dagen. – det som da vil skje er at svømmeblæren trykkes sammen i henhold til Boyle-Mariottes lov (også kalt «konstant temperatur-loven») som sier at $p * V = konstant$, hvor p = trykk og V = volum, og følgelig vil svømmeblæren bli mindre og mindre som funksjon av økende dyp (Ona, 2017).

6.2.3 Måling av fisk med svømmeblære

Når man utfører målinger med akustikk på fisk som har lukket svømmeblære antar man vanligvis at den vertikale vandringen er balansert, det vil si at svømmeblæren er like stor til enhver tid og på alle dyp og dermed at ekkoet fra en slik fisk er uavhengig av hvilket dyp

den befinner seg på. Når svømmeblæren derimot ikke er like stor til enhver tid vil dette kunne by på akustiske problemer, et eksempel kan være artsidentifikasjon. Ser man eksempelvis en lysprikkfisk eller en laksesild? (Ona, 2017) (Davison, et al., 2015). Man kan til en viss grad bruke resonans til å se på svømmeblærestørrelse blant annet for artsidentifikasjon. I Havforskningsinstituttet sine fartøy er det gjerne 18 kHz og 38 kHz ekkolodd. Lysprikkfisk har mindre svømmeblære enn det laksesild har, noe som betyr at på 18 kHz ligger lysprikkfisken (de individene som har svømmeblære (Ref. Kap. 6.2.4)) nærmere resonans frekvens på 18 kHz enn det laksesild gjør, noe som vil gi en høyere backscatter på 18 kHz for lysprikkfisk enn for laksesild. Dersom man da har høy backscatter på 18 kHz på det gitte dypet vil det i utgangspunktet være nærliggende å mistenke at det man ser er lysprikkfisk, eventuelt ung laksesild dersom det er høyere oppe i vannsøylen (Klevjer, 2017). Man må her ta forbehold om usikkerheten knyttet til ubalanse i den vertikale vandringen som nevnt ovenfor.

Det er viktig at man husker på at mer enn 90 % av gjennomsnittsekket fra en fisk kommer fra den gassfylte svømmeblæren. Resten av fisken som stort sett består av kjøtt, bein, skjell og hode utgjør bare 10 %. Det vil si at ekket fra en slik fisk uten svømmeblære vil da være 10 ganger, eller 10 dB lavere enn ekket fra en slik fisk med normal svømmeblære (Ona, 2017).

6.2.4 Lysprikkfisk uten gassfylt svømmeblære

For den typen lysprikkfisk som er vanligst i nordiske farvann, *Benthosema glaciale*, så er det slik at noen av individene har luft i svømmeblæren og noen har ikke. Hvor stor del av bestanden som ikke har gassfylt svømmeblære er relativt ukjent, men det anslås ut i fra tidligere forskning at dette kan være gjeldende for bortimot halvparten av fisken. Det har blitt utført forskning spesifikt på svømmeblæren til denne typen fisk hvor man skulle se på svømmeblæren for å prøve å modulere tilbake til mengden lyd tilbakespredt av individene. Under forskningsprosessen fant de altså ikke en gassfylt svømmeblære i ca. halvparten av individene. Det at noen av *Benthosema glaciale* har gassfylt svømmeblære og noen har ikke, vil være av stor betydning når det skal utføres målinger på denne typen fisk. Dette skaper spesielt store utfordringer dersom man skal bruke lavfrekvente ekkolodd fra overflaten (skrogmontert). Det blir sett nærmere på en potensiell løsning på denne utfordringen senere i oppgaven (Klevjer, 2017).

6.2.5 Voks-estere

Hva med de fiskene som ikke har luft i svømmeblæren? Det som i praksis skjer er at noen av de mesopelagiske fiskene gjerne får problemer med å jobbe med en gassfylt svømmeblære som krever gassutveksling. Svømmeblæren fylles da med voks-estere eller olje, og fisken oppnår følgelig en del løft med det (Ona, 2017). Hovedfunksjonen til voks-estere i marine organismer er å fungere som et reserve-energilager og som en oppdriftsmekanisme. Oppdrift vil mest sannsynlig være voks-esterens hovedfunksjon hos en lysprikkfisk (Phleger, 1998). Ettersom voks-esterne i en ikke gassfylt svømmeblære ikke kan komprimeres, trenger disse fiskene ikke å kompensere for endringer i trykkpåvirket voks-ester volum under vertikal migrasjon, noe som er en av grunnene til at fisken fyller svømmeblæren med voks-estere (Ackman, 1989) (For mer info om voks-estere: se også dypvannsfisk som *Orange roughy*).

Ekko fra marine organismer som ikke har en gassfylt svømmeblære er i stor grad avhengig av størrelsen på målet, lyd hastigheten og tetthetskontrasten med det omkringliggende mediumet (vannet), samt frekvensen som benyttes. Med hensyn til interessen av å detektere organismer uten gassfylt svømmeblære (de individene med voks-ester fylt svømmeblære) i størrelsesgraden ned mot et par millimeter har det vist seg at man må opp i akustiske frekvenser i området 200 – 500 kHz (Pieper & Holliday, 1980). En slik frekvensøkning vil muligens kunne være en potensiell løsning på noen av de aktuelle problemene, men vil også gi noen utfordringer.

6.2.6 Et resonansproblem

Som nevnt under kapittel 5.3.6 *Resonans*, så er det slik at fiskens svømmeblære kan komme i resonans. For selve deteksjonen av fisken vil dette være svært gunstig ettersom resonans vil kunne bidra til et klart og tydelig ekko. På den andre siden vil man muligens kunne bli lurt av resonansen til å tro at det er mer fisk enn det egentlig er. For en lysprikkfisk, eventuelt laksesild som vil kunne resonere med frekvenser på 38- og 18 kHz vil det derfor kunne se ut som det er voldsomt mye fisk, mens det egentlig er et resonansproblem (Ona, 2017).

6.2.7 Fiskens påvirkelighet for støy

Som beskrevet tidligere vil lydbildet under vann være preget av en rekke «uønskede» lydkilder som vil kunne være av betydning for undervannsakustisk instrumentering. Hvordan påvirker disse «uønskede» lydkildene den mesopelagiske fisken?

Foreløpig ser det ut til at forskerne har til gode å kunne gi et godt svar på dette, men det er et tema som per i dag forskes en del på og med utgangspunkt i den forskningen som er gjort til nå, antas det at det ikke er noe særlig stort problem. Særlig med tanke på støy fra skipet, vil fisken mest sannsynlig være for langt unna til at det vil være av særlig stor betydning. Man vet at lyden utbreder seg nedover i vannsøylen og særlig da den hydroakustiske lyden vil muligens kunne påvirke fisken i noen grad, men som sagt vet man foreløpig lite om dette (Klevjer, 2017).

Organismens egenproduksjon av lyd

Det er flere ting som tyder på at disse organismene i det mesopelagiske sjiktet også produserer lyd selv, noe som muligens kan være en faktor for akustiske målinger. Det har blant annet blitt senket ned en hydrofon som har oppfattet mye støy i de mesopelagiske lagene, men det er enda en del usikkerhet om kring dette temaet. Dersom man sammenligner med de studier som blant annet er gjort på blekksprut, kommer det tydelig frem at blekkspruten er veldig ømfintlig for ekkolodd lyder. Hvaler, som er blekksprutens viktigste predatorer, bruker ekkolokasjon til å finne mat, blekkspruten har derfor utviklet en evne til å unngå denne typen lyd (Klevjer, 2017).

6.3 Potensielle løsninger

Noen av de største akustiske utfordringene med det mesopelagiske fiskeriet har nå blitt nevnt. Hvordan skal disse utfordringene løses? Som nevnt tidligere har man per i dag teknologi til å løse en del av problemene, men ikke alle.

6.3.1 Frekvensøkning

Som det fremgår av dokumentet (Pieper & Holliday, 1980) vil det være nødvendig å komme opp i frekvenser i området 200 – 500 kHz for å detektere organismer uten gassfylt svømmeblære i størrelsesorden ned mot et par millimeter. En slik frekvensøkning vil også være med på å løse en del av resonansproblematikken (Ref. Kap. 6.2.6). Per i dag finnes det teknologi til å kunne utføre en slik frekvensøkning, men denne teknologien strekker ikke til ved skrogmonterte svingere, dette er på grunn av den lange avstanden ned til det mesopelagiske sjiktet. Rekkevidden ved høye frekvenser vil reduseres drastisk som følge av absorpsjon (α). Utstyret må følgelig senkes ned, slik at man kan måle på kortere avstand, for eksempel 200 meter som vil være typisk rekkevidde for en akustisk frekvens på 200 kHz.

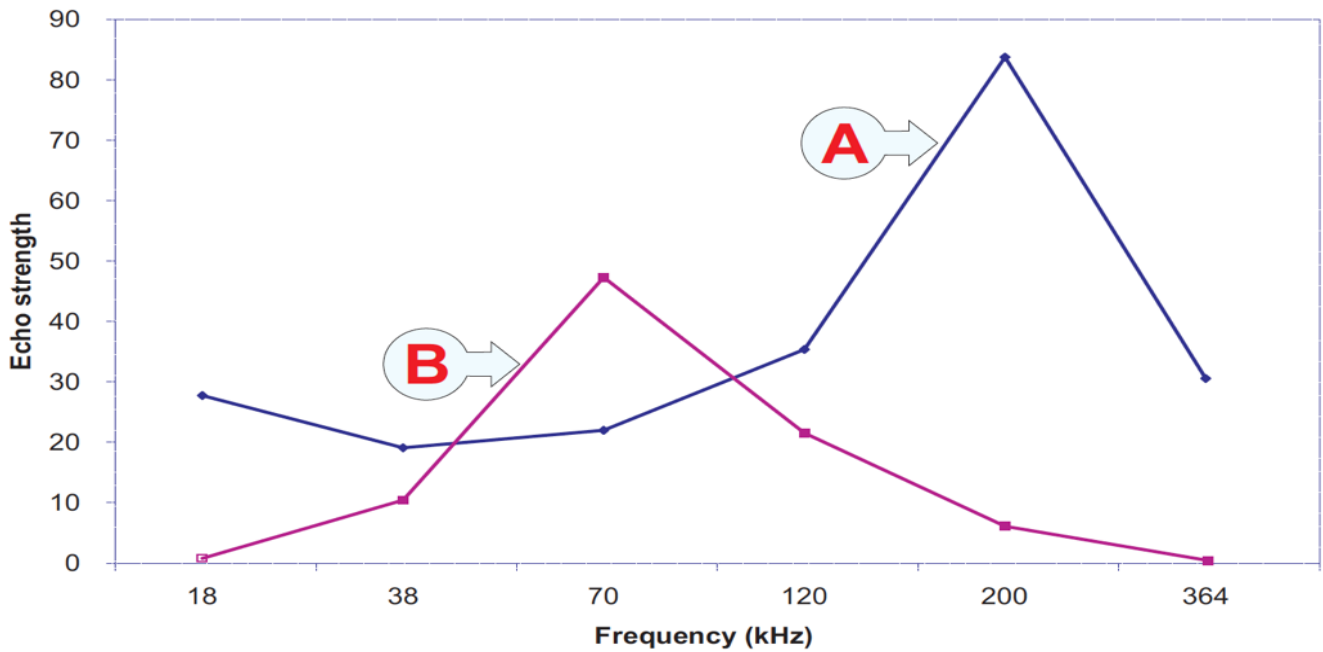
Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

Ved nedsenkbar akustikk vil man kunne løse opp ekkoet helt ned til enkeltindivider som følge av en økning i frekvens, som ikke bare gir høyere oppløsning men sørger også for at resonans ikke lenger vil være noe problem. Ved bruk av nedsenkbar akustikk kan man ikke bruke en konvensjonell skrogmontert svinger og senke denne ned. Svingerne (sender/mottaker) må konstrueres for å tåle trykk. Slike svingere finnes på markedet per i dag og både produsenter som Simrad og andre har slike, for eksempel ES38 DD, som tåler å bli senket ned til 1500 meters dyp. Simrad sitt kjennetegn for slike trykksterke svingere er at det står en «D» bak utstyrsnavnet (Ona, 2017) (Klevjer, 2017).

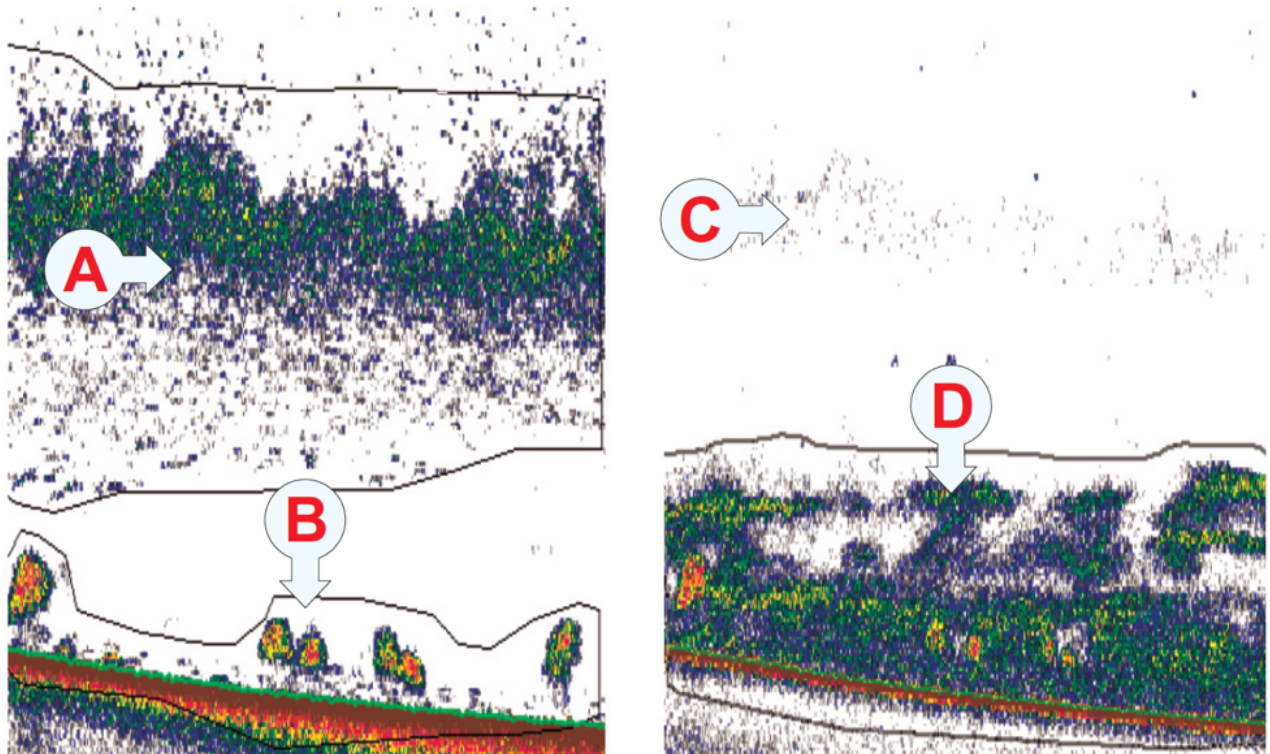
Flere frekvenser

Et alternativ eller et supplement til å gå opp i frekvens kan være å bruke flere, slik at en kan måle på flere frekvenser. Dersom man tenker seg et veldig tett lag av mesopelagisk fisk, målt på frekvensen 38 kHz med skrogmontert utstyr fra fartøyet. Hvis man da stopper opp og sender utstyret ned og inn i det tette laget. Dersom man nå måler den samme tettheten på flere frekvenser, så har man ikke resonans. Videre kan man da løse opp enkeltindivider og finne målstyrken til enkeltindividene, og da har man i grunn alt som er nødvendig for et tetthets-estimat, både fra fartøy og fra probe (transducer) som nå skal gi et sammenfallende resultat (Ona, 2017). Nyere forskning har vist at samtidig bruk av flere forskjellige og adskilte ekkoloddfrekvenser ikke bare løser resonansproblematikken i tillegg til å forbedre grunnlaget for å estimere en bestand, men kan også brukes til å artsbestemme fisk (fig. 25). Dette er fordi hver art har en unik akustisk respons (Simrad, u.d.).

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter



Figur 25 Her ser man et eksempel på artsidentifikasjon med multifrekvens ekkolodd (Simrad EK60) ut fra forskjellene i akustisk respons/signatur hos to forskjellige arter (makrell (A) og krill (B)). (Simrad, u.d.)



Figur 26 Ekkogrammet illustrerer deteksjon av fisken alaskatheragra (år-0) (fra torskefamilien) og lodde (A) og voksen torskefisk (B) på en relativt lav frekvens (18 kHz). Man ser også deteksjon av torskefisk (år-0) og lodde (C) samt krill og alaskatheragra (voksen) (D) på en høyere frekvens (200 kHz). (Simrad, u.d.)

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

Små organismer som plankton og mesopelagisk fisk har normalt sett en sterkere akustisk refleksjon i den høyere delen av frekvensspekteret. Ekkogrammet ovenfor (fig. 26) er utarbeidet av NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA). Ved bruk av frekvensene 18- og 200 kHz, demonstreres det tydelig at den akustiske refleksjonen eller målstyrken (TS) kan være sterkt frekvens avhengig. Målingene er utført med ekkoloddet EK60 fra Simrad (Simrad, u.d.).

Selv om multifrekvens ekkolodd ser ut til å kunne løse flere av problemene man står ovenfor må det likevel tas hensyn til bruk av fler-frekvente teknikker ned mot DSL, da særlig med skrogmontert utstyr. På grunn av strålespredning og avstanden fra svingeren til skrogbaserte systemer, blir flere mål ofte «fylt med akustisk stråling» (eng. ensonified). Frekvensresponsen til disse målene er ofte svært ulik og overskrider gjerne de tilgjengelige frekvensene. Man har likevel noen mulige løsninger. dB differensieringsfiltre kan brukes til å ekskludere «ikke-mål» ved å utnytte forskjeller i frekvensspekter mellom ulike størrelser på mål og mellom gass- og væskefylte objekter. Imidlertid vil to frekvenser (f.eks. 18- og 38 kHz) ikke være tilstrekkelig for å kunne etablere den dominerende størrelsesklassen av svømmeblærer i DSL, dette skyldes tilstedeværelsen av ikke-resonansfisk. Selv om andelen av resonansfisk kan etableres med tillit, blir den koblet fra biomasse fordi større ikke-resonansfisk dominerer biomassene. Dermed må multifrekvensdata fortolkes forsiktig. Ved nedsenkbar akustikk blir multifrekvensteknikker mer praktiske som nevnt ovenfor (Davison, et al., 2015).

6.3.2 Frekvensreduksjon

Det finnes også et annet alternativ til det å gå høyere i frekvens. Det er å gå motsatt vei, altså å gå ned i frekvens. Dette er noe man foreløpig ikke har teknologi til å kunne utføre. Det man kunne gjøre ved en frekvensreduksjon er å benytte resonans til å se på svømmeblære størrelse, som igjen kan brukes til å identifisere de artene som finnes i det mesopelagiske sjiktet. Blant annet skal Woods Hole Oceanographic Institution prøve å gå ned i frekvens. De bygger en slepefisk der de skal gå helt ned til frekvensområdet rundt 1 kHz. Woods Hole Oceanographic fokuserer da implisitt på ting med gassblære, ettersom det er ting med gassblære som gir resonans. Derav vil en slik reduksjon i frekvens ikke kunne løse det problemet man står ovenfor angående de organismene som ikke har en gassfylt svømmeblære (Klevjer, 2017).

6.4 Dagens utstyr

De første trykkstabile splitt-/multistråle svingerne kom på 1990-tallet, nærmere bestemt 1993 (Ona, 2017). I dag brukes det mye enkle svingere hvor man har probing med TS probe, som er et spesialutviklet instrument for detaljmåling av fiskens målstyrke på dyp fra overflaten og ned til ca. 1500 meter (begrenset av dagens svingerteknologi). En multifrekvens TS probe kan også benyttes for nøyaktig kalibrering av trykkstabile svingere (Havforskningsinstituttet, 2006). Nylig er også WBAT (Wide Band Autonomous Transceiver) tatt mer og mer i bruk. WBAT er et system som inneholder både ekkolodd, batteri, datamaskin og svinger i en liten pakke (Ona, 2017). Simrad WBAT-systemet bruker bredbånds ekkoloddteknologi for å skille mellom plankton og forskjellige fiskearter. Systemet skal ifølge Simrad kunne produsere høyverdige vitenskapelige data med høy oppløsning (Simrad, u.d.). Noe av det absolutt viktigste man står ovenfor angående akustisk utstyr er nå kalibrering og at datakvaliteten er fullt ut vitenskapelig, man kan konkludere med at her holder det ikke med noe «mickey mouse – utstyr». Det vil naturligvis også koste en del å hente inn slike data (Ona, 2017).

6.4.1 Sonar måling

Flere forskere mener at det i praksis vil være problemer knyttet til sonarbruk og mesopelagisk fisk. Når man snakker om mengdemåling av mesopelagisk fisk har det vært sagt at sonar vil være tilnærmet uaktuelt, i og med at det kan være vanskelig å få sonarene kvantitative. Ettersom mesteparten av disse ressursene ligger under termoklinene sies det også å kunne være noe problem knyttet til lydavbøying (Klevjer, 2017). Det er stadig en utvikling på utstyrssiden og man ser nå at de nyeste sonarene på markedet har gode muligheter for målinger. Det har nylig blitt utviklet en kalibreringsmetodikk som gir muligheter for å bruke sonaren til å måle direkte hvor stor en sildestim er. Foreløpig er ikke algoritmene for dette bygget inn i sonarene, men dette regnes med at vil komme i løpet av et år eller to, da som følge av CRISP-prosjektet. CRISP (Centre for Research-based Innovation i Sustainable fish capture and Pre-processing technology) er et senter for forskningsdrevet innovasjon (SFI) innen bærekraftig fiskeri. Målet med senteret er et paradigmeskifte innen fiskeriteknologi (Nofima, u.d.).

Stimareal og mengde

I dagens sonarer ligger det innebygd noen enkle relasjoner mellom stimareal og mengde, men dessverre er dette et upresist estimat og vil ofte gi et galt/upresist resultat, spesielt på svake, små stimer. Skipperen på fartøyet lærer seg ofte av erfaring hvordan dette fungerer på sin egen sonar, med sin spesielle setting (Ona, 2017).

Fiskeleting med sonar

For leting etter stimer og tette konsentrasjoner eksempelvis av kolmule, sei og krill på lang avstand gir sonarbildet et godt relativt bilde av konsentrasjonen foran fartøyet. Man får god oversikt og ser raskt om det er fordelaktig å svinge svakt til styrbord/babord under tråling, for å styre fisken inn i trålen. Avbøying og akustiske effekter kan som nevnt tidligere være et problem, men under gunstige forhold vil man kunne se tetthetsfordelingen så langt som 5 – 8 km foran fartøyet. Ved hjelp av et program kalt LYBIN fra FFI, kan man gå inn å beregne rekkevidde og lydbaneforhold for ulike sonarer under gitte oseanografiske forhold. Man må da finne en typisk CTD profil fra det gitte området, eksempelvis Omangulfen eller Norskehavet, og legge denne profilen inn i programmet. Deretter legger man inn sonarparametrenes frekvens og åpningsvinkel etc. Så vil programmet beregne de aktuelle lydbanene. Det konkluderes med at til leting og oversikt er det flott med sonar (hvis sonarforholdene er gode), men for tetthetsmåling og mengdemåling er det foreløpig best med ekkolodd (Ona, 2017).

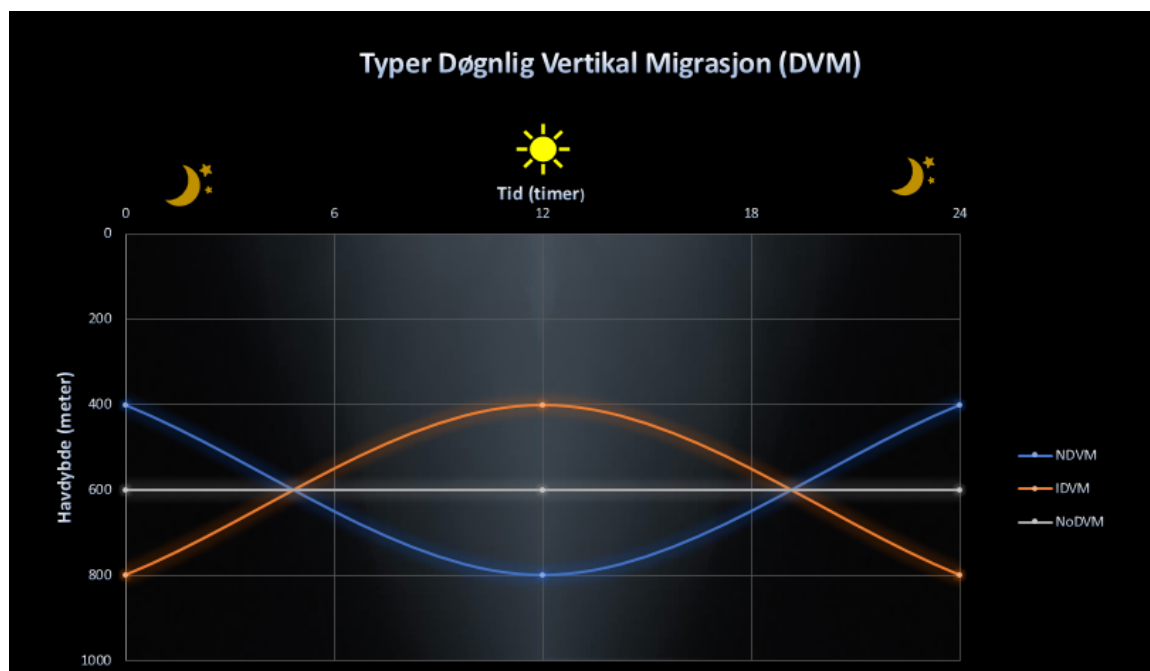
7 Vertikal fordeling og migrasjon

Fiskenes vertikale fordeling og migrasjon (i vannmassene) er en viktig faktor å kartlegge for enklere deteksjon og korrekt dybdeplassing av fangstredskap. Fordelingen varierer med den vertikale migrasjonen, som kort fortalt er en synkronisert bevegelse av fisk og zooplankton som varierer mellom havets eksogene faktorer og individenes fysiske utvikling. Det er tre hovedkategorier for vertikal migrasjon: døgnlig-, sesongbasert- og ontogenetisk vertikal migrasjon.

7.1 Døgnlig Vertikal Migrasjon – DVM

DVM (eng. Diel Vertical Migration) (fig. 27) er en synkronisert bevegelse av fisk og zooplankton opp og ned i vannsøylen over en døgnlig syklus. Lyset fra havoverflaten i tillegg til en rekke andre eksogene faktorer er grunnlaget for DVM. Dyrene migrerer som oftest oppover mot overflaten i skumringen og tilbake til dypere vann før daggry, men motsatt mønster kan også forekomme. Store mengder av de mesopelagiske fiskebestandene har en døgnlig vertikalbevegelse på flere hundre meter. Dette varierer fra art til art og hvordan eksogene faktorer påvirker artene i ulike havområder (Brierley, 2014). Hvilken type DVM et individ benytter bestemmes av havets eksogene faktorer i tillegg til art, alder og størrelse (Dypvik, 2012).

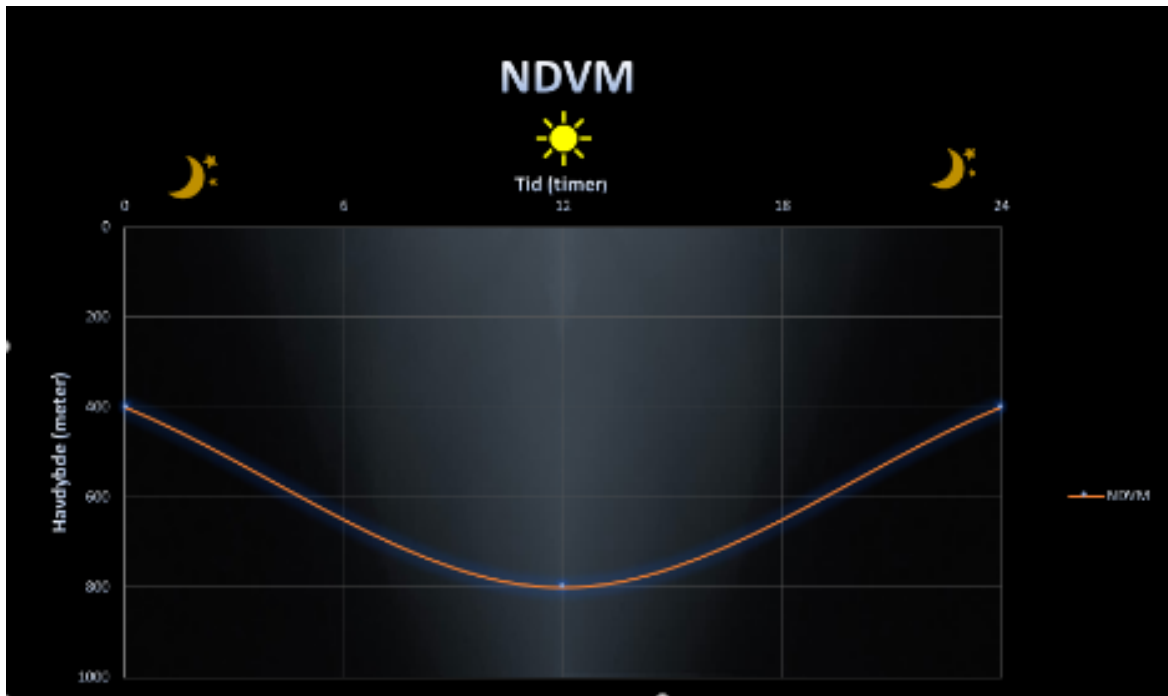
7.1.1 Tre forskjellige typer døgnvandring



Figur 27 Ulike typer døgnlig vertikal migrasjon. (Bilde: Privat) (Dypvik, 2012)

Normal døgnvandring, NDVM

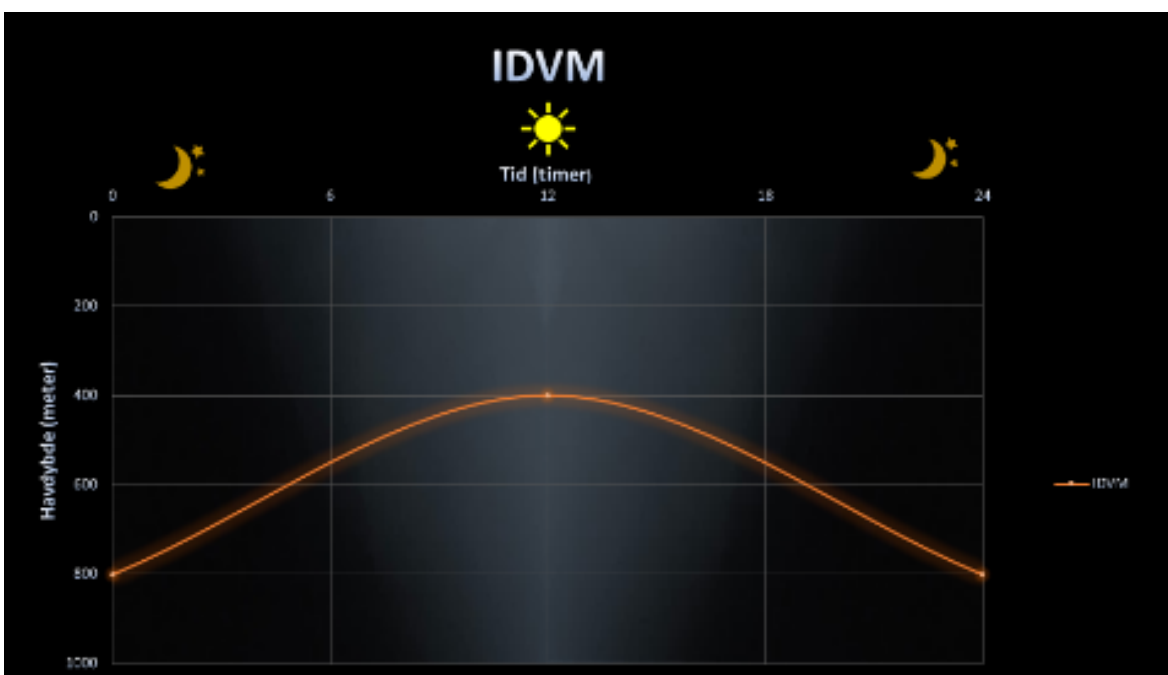
Ved NDVM (fig. 28) migrerer fiskebestanden oppover i vannsøylen i skumringen og tilbake til dypere vann ved daggry. Denne typen DVM utføres typisk av individer som oppholder seg på dypet på dagtid hvor lyset er minimalt for å unngå oppdagelse av predatorer. Etter solnedgang svømmer de oppover i vannsøylen for å finne føde. Lyset er dermed den strukturerende faktoren for individenes SVM og DVM (Klevjer, 2017).



Figur 28 *NDVM* (Bilde: Privat) (Dypvik, 2012)

Invers døgnvandring, *IDVM*

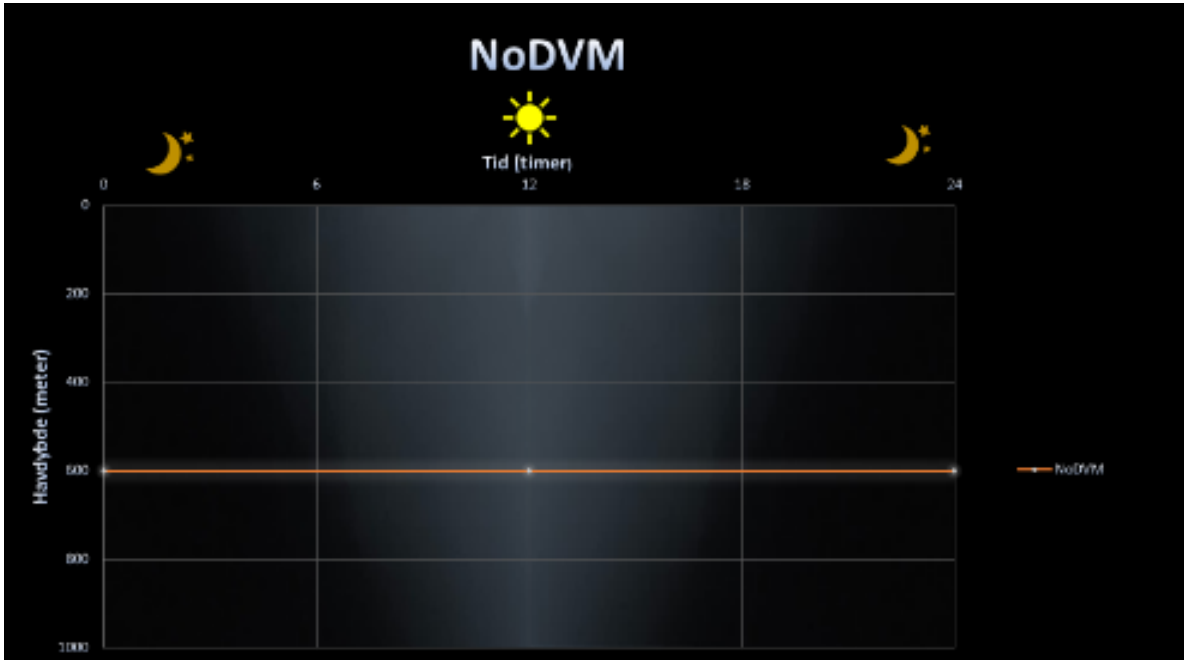
Ved *IDVM* (fig. 29) migrerer fiskebestanden nedover i vannsøylen i skumringen og tilbake til de øvre vannmassene ved daggry. Denne typen *DVM* utføres ofte av mindre individer som er for små til å oppdages av predatorer (Dypvik, 2010).



Figur 29 *IDVM* (Bilde: Privat) (Dypvik, 2010)

Ingen døgnvandring, NoDVM

Ved NoDVM (fig. 30) holder fiskebestanden seg til en fast dybde og migrerer verken oppover eller nedover i vannsøylen i løpet av døgnet. Denne typen DVM utføres typisk av større individer som oppholder seg nede på dypet hele døgnet for å unngå predatorer. Disse livnærer seg på andre typer alger som finnes ved dette dypet (Dypvik, 2012).



Figur 30 *NoDVM* (Bilde: Privat) (Dypvik, 2012)

7.1.2 Eksogene faktorer

Den døgnlige vertikale migrasjonen til mesopelagisk fisk blir blant annet påvirket av eksogene faktorer i havet. Eksogene faktorer er påvirkninger som kommer utenfra som forandrer et individs syklus (Kåss, 2015). De eksogene faktorene i denne sammenhengen er lys, temperatur, salinitet, predatorer og føde. Disse faktorene varierer mellom havområdene i verden og fører til forskjellige vertikale fordelinger og migrasjoner blant fiskeartene.

En nærmere forklaring av disse faktorene:

Lys

«Når solen går ned, settes naturens største vandring i gang. Enorme mengder dyr kommer opp fra den mørke sonen til mer næringsrikt og grunnere vann. Ved dag gry når de er mer sårbare for rovdyr vender de tilbake til det trygge dyphavsmørket. Her gjelder det å se, uten å bli sett» (The Blue Planet: A Natural History of The Oceans - «The Deep», 2001).

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

Lysset er grunnlaget for den mesopelagiske sonen som strekker seg fra 200 – 1000 meter. Her er det enten lite eller intet lys. Lysset er også den strukturerende faktoren for biomassenes vertikale fordeling og migrasjon. Grunnet vannets lysabsorberingsevne blir havet mørkere jo dypere man kommer. Absorberingsevnen varierer mellom verdenshavene. Om man sammenligner fiskenes fordeling i det klare vannet i Rødehavet med det mørke vannet langs Norskekysten ser man at biomassen står mye dypere i det klare vannet enn i det mørke (Røstad, et al., 2016).

Temperatur

Vannmassene i den mesopelagiske sonen er homogene. Det betyr at faktorer som temperatur er svært stabile. Temperaturene varierer litt mellom havområdene, dette er på grunn av regionale og lokale klimatiske ulikheter. Det er kjent at temperaturen kontrollerer vekstraten hos den mesopelagiske fiskebestanden (Klevjer, 2017). Dermed kan den knyttes til hvilke arter som er å finne, i tillegg til biomassens størrelse (Dalpadado, et al., 1998) (Dypvik, et al., 2011) (Davidson, et al., 2015).

Salinitet

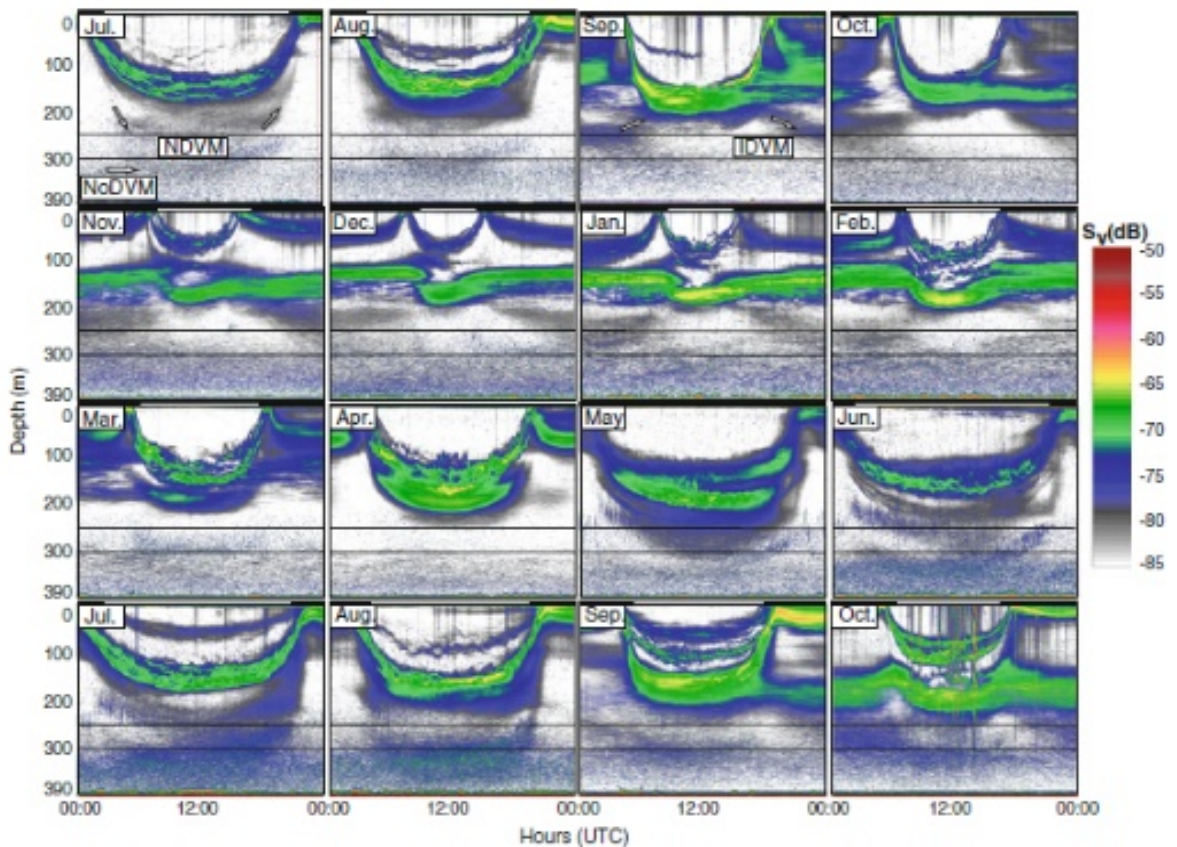
Salinitet er betegnelsen på havets saltholdighet (Meteorologisk-Institutt, 2009). Vannmassene i den mesopelagiske sonen er homogene, og det betyr at salinitetens variasjon er liten. Hvilken påvirkning saliniteten har på de mesopelagiske fiskeartene er fortsatt ukjent, men trolig er nok denne veldig liten (Klevjer, 2017).

Predatorer og føde

Predasjon defineres som en organisme (predator) som spiser av en annen organisme (føde) (Solheim & Hjermann, 2011). Det er fortsatt veldig lite data på hvem som spiser på de mesopelagiske fiskene. Det er kjent at tonnhvaler og liknende delvis ernærer seg på disse. De mesopelagiske fiskene ernærer seg på forskjellige typer plankton, som også utfører døgnvandring. Den vertikale migrasjonens lengde varierer mellom artene, dette er også en relevant faktor for hvor de mesopelagiske fiskebestandene befinner seg (Klevjer, 2017).

7.2 Sesongbasert Vertikal Migrasjon – SVM

SVM (eng. Seasonal Vertical Migration) (fig. 31) er den sesongbaserte forskjellen i den vertikale migrasjonen et individ utfører. Hos den mesopelagiske fiskebestanden er denne typen vertikal migrasjon stor. Grunnet årstidene får man forandringer i periodene med dagslys, som gjør at man får endringer i de eksogene faktorene. Sesongvariasjonene påvirker også den daglige døgnvandringen, og varierer systematisk med årstidene. Lyset er dermed den strukturerende faktoren for SVM. Nedenfor er et eksempel på målinger som ble tatt i Masfjorden i 2011 over en tidsperiode på 16 måneder. Målingene viser forekomster av laksesild (Dypvik, 2012).



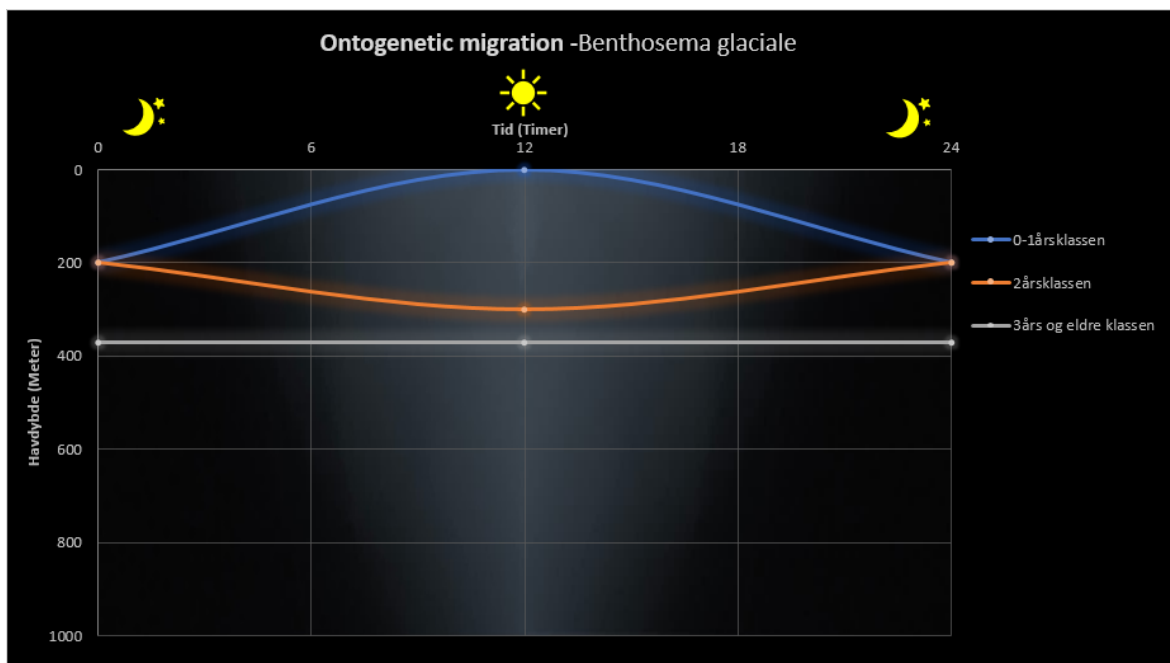
Figur 31 I perioden mars – september, er årstiden med de lengste lysperiodene. I denne perioden er NDVM den dominerende vandringen. I løpet av september begynner biomassene å tilbringe lengre tid høyere i vannsøylen. Man ser også at deler av biomassen begynner å endre type døgnvandring fra NDVM til NoDVM. Det betyr at store deler av biomassen holder seg ved en fast dybde i vannsøylen over hele mørkeperioden, (September – mars) (Dypvik, 2012)

7.3 Ontogenetisk Vertikal Migrasjon – OVM

OVM (eng. Ontogenetic Vertical Migration) (fig. 32) er den aldersbaserte vertikale vandringen et individ utfører. Internt hos de mesopelagiske artene kan man dele opp bestanden i aldersgrupper. Aldersgruppene vil grunnet den fysiske utviklingen leve på forskjellige dybdenivåer i vannsøylen og ha forskjellig vertikal migrasjon. En teori på denne ontogenetiske vertikale migreringen er at jo mer de vokser, jo dypere må fisken ned i vannsøylen for å skjule seg for predatorer. (Dypvik, 2012)

«Det er ofte sånn at jo større du er, jo lengre ned må du gå for å unngå predatorene dine. Det er rett og slett slik at små dyr finner man høyere i vannsøylen enn større dyr» (Klevjer, 2017).

Man kan også se forskjell i type døgnvandring hos de forskjellige aldersgruppene.



Figur 32 Illustrativt eksempel av OVM basert på data fra Masfjorden. Eksempelet er kun representativt for området hvor målingene ble utført (Bilde: Privat) (Dypvik, 2012)

8 Fangstmetoder og utstyr

8.1 Passive og aktive redskaper

Det finnes hovedsakelig to typer fangstredskaper. Passive redskapstyper og aktive redskapstyper.

8.1.1 Passive redskaper

De passive redskapene kjennetegnes ved at de er i ro under selve fangstprosessen, og at de er plassert ved bunnen. Fartøyet vil ikke være direkte involvert når fisken fanges med disse redskapene. Passive redskaper er særlig godt egnet når fiskeforekomstene er spredt over store vannmasser og når det er snakk om fangst av relativt stor fisk. Passive redskaper er også godt egnet til fangst på dårlig bunn, særlig under eller tett ved bratte «hamrer» hvor fisken ofte samler seg. De viktigste fasene i fisket med passive redskaper er «setting», «ståtid» og «haling». Felles for passive redskaper er at de trenger en viss tid i sjøen, «ståtida», for å fange fisk. Eksempler på passive redskaper er line, garn, teiner og ruser osv. (Karlsen, 1997).

8.1.2 Aktive redskaper

Aktive redskapstyper innebærer at redskapet er i bevegelse under fangstprosessen. De viktigste typene er trål, snurpenot og snurrevad. Det mest typiske for de aktive metodene, og noe som klart skiller seg fra de passive, er at fartøyets operasjoner er helt nødvendige under selve fangstprosessen. Ytelsen og kapasiteten til fartøyet er også helt avgjørende for fangsteffektiviteten til de aktive redskapene. For eksempel ved tråling er størrelsen på fartøyets maskinkraft bestemmende både for hvor stor trål som kan benyttes og for hvor stor tauehastighet som kan oppnås. Fartøyet er med andre ord en meget faktor for fangstpotensialet, på en helt annen måte enn for de passive redskapene. For de viktigste aktive redskapene, som trål, snurpenot og snurrevad har det i takt med utviklingen av større og kraftigere fartøyer også skjedd en utvikling mot stadig større dimensjoner og tyngde på selve redskapet (Karlsen, 1997).

Det er hovedsakelig tre aktive redskaper å velge mellom: Trål, snurrevad og snurpenot.

Snurpenoten har begrensinger både i utstrekning og dybde, og er derfor bare effektiv på fangst av fisk i stim. Snurpenoten er begrenset til en dybde på ca. 200 meter (Karlsen, 1997).

Snurrevad kan på mange måter sammenlignes med trålen, men i motsetning til trålen, bruker den tau i stedet for «dører» til å holde nota åpen. Den kan kun taues langs bunnen, og tauetiden er begrenset til omtrent halvannen time. Tauetidens begrensning kommer av at tauene ikke har samme hydrodynamiske egenskaper som tråldørene og vil ikke klare å holde åpningen til nota åpen over lengre tid. De «klapper sammen».

Trålen har til sammenligning med snurrevad mulighet til å taues langs bunnen, men kan også taues midt oppe i vannmassene. Trålen bruker dører til å holde nota åpen, og på grunn av dørene vil ikke tauetiden ha noen begrensninger. Trålen kan taues og fiske effektivt ved dyp på over 2000 meter og helt opp til vannoverflaten. Den er sannsynligvis det mest anvendelige og totalt sett mest effektive av alle fiskeredskaper. Det er svært få fiskeslag den ikke er egnet til fangst på. Dårligst egnet er trålen til å fange fisk som svømmer svært fort, da det er et svært tungt redskap og det er derfor begrenset hvor stor hastighet fartøyet klarer å tau trålen med. Trålen er det eneste redskapet som er særlig egnet til fangst av meget små individer, som f.eks. krill, plankton og små fiskearter, som kan være spredd over store vannmasser, både vertikalt og horisontalt (Karlsen, 1997).

Mesopelagisk fisk befinner seg over store havområder og beveger seg opp og ned i de dype vannmassene fra 200 – 2000 meter, og det antas derfor at trål vil være det mest egnede fangstredskapet, da snurpenoten og snurrevaden har sine nevnte begrensninger.

Ettersom trål antas å være det mest egnede redskapet, vil gruppen forklare hvordan trålen er oppbygd og hvordan den fungerer. Det skilles hovedsakelig mellom to typer trål: bunntråd og flytetråd. Trål er et meget avansert og teknisk redskap, og det vil derfor bli presentert illustrasjoner og tegninger av trål-prinsippet, og hvordan de vesentlige delene av trålen ser ut. Den vanligste tråltypen er bunntråd, men fiskeriet etter mesopelagisk fisk må fiskes med form flytetråd på grunn av dens vandring oppe i vannmassene. En del av tegningene og illustrasjonene vil være fra bunntråd, men prinsippet for flytetråd og bunntråd er rimelig like, så dette er ikke av stor betydning.

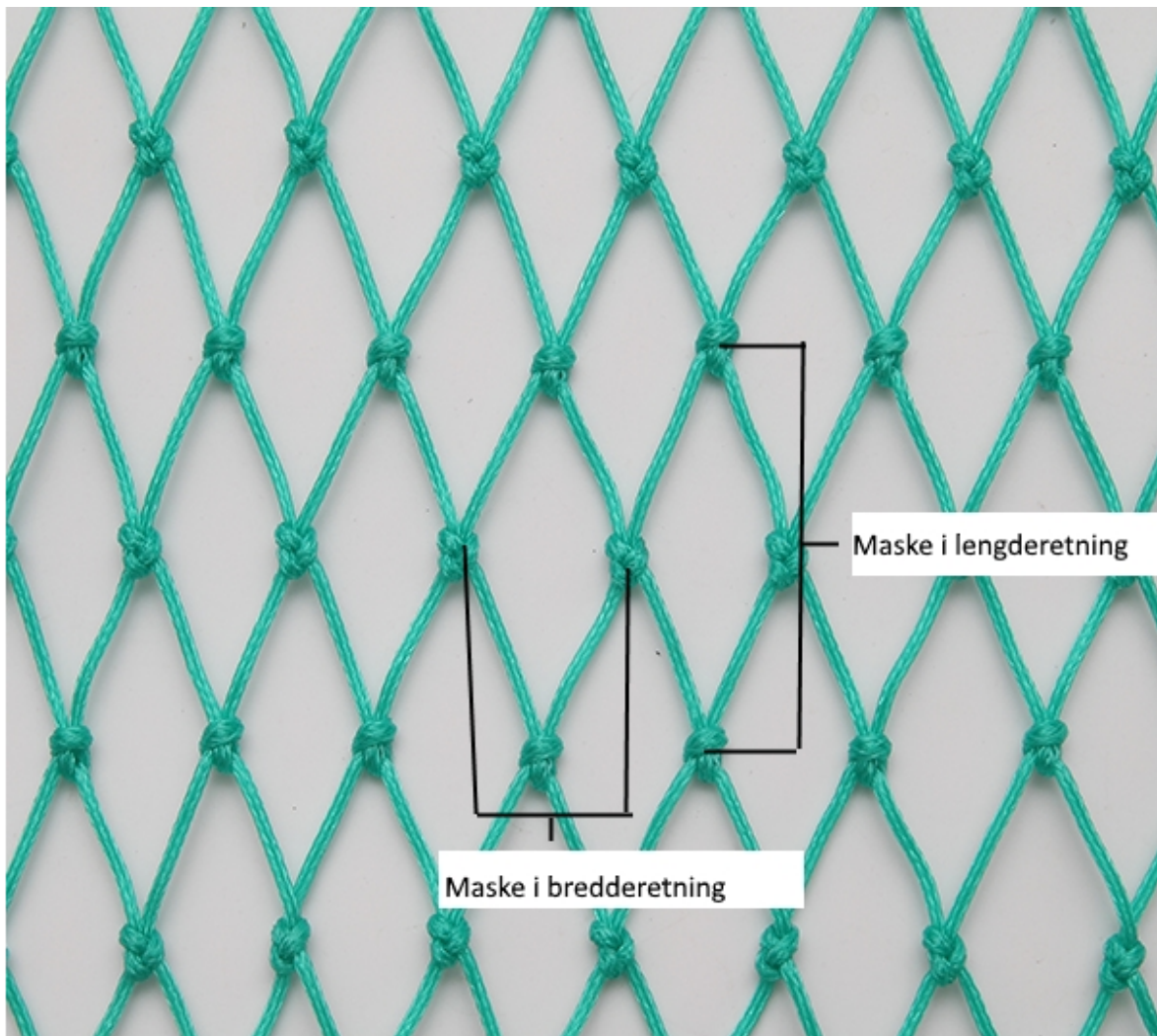
8.2 Trålens oppbygning og funksjoner

Trålen fanger i prinsippet fisk ved at en nettpose, trålnota, «taues» gjennom vannmassene slik at fisken, som oppholder seg i vannmassene, blir fanget og tilbakeholdt i trålposen mens vannet blir silt gjennom maskene. Det finnes flere ulike måter å arrangere tauingen av trålen på, samt hvordan den kan holdes åpen i de fremre panelene. «Otertrål» er den vanligste

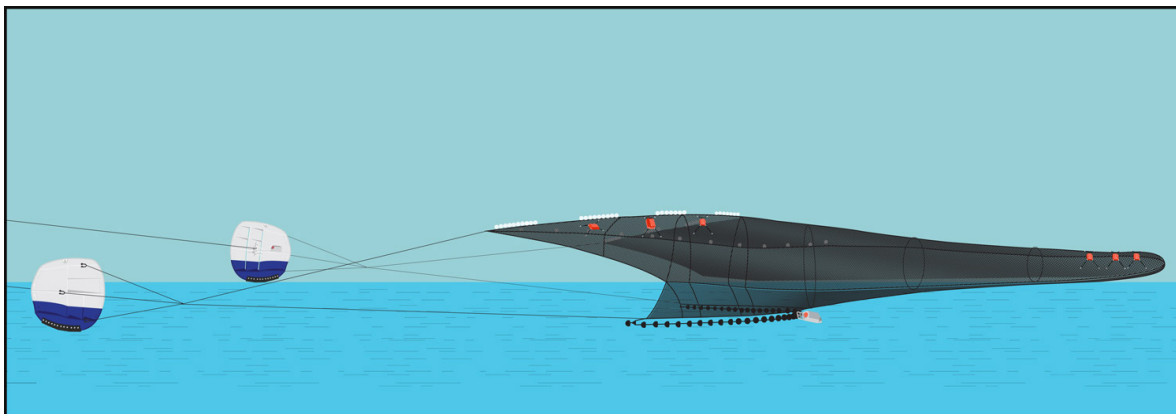
tråltypen og bruker tråldører til å holde oppe trållåpningen. Videre finnes det «partrål» og «bomtrål», der åpningen på «partrål» holdes åpen ved hjelp av to fartøyer, mens «bomtrål» bruker bommer som er fastmontert på fartøyet til å holde åpningen åpen (Karlsen, 1997).

8.2.1 Nota, nettpanel

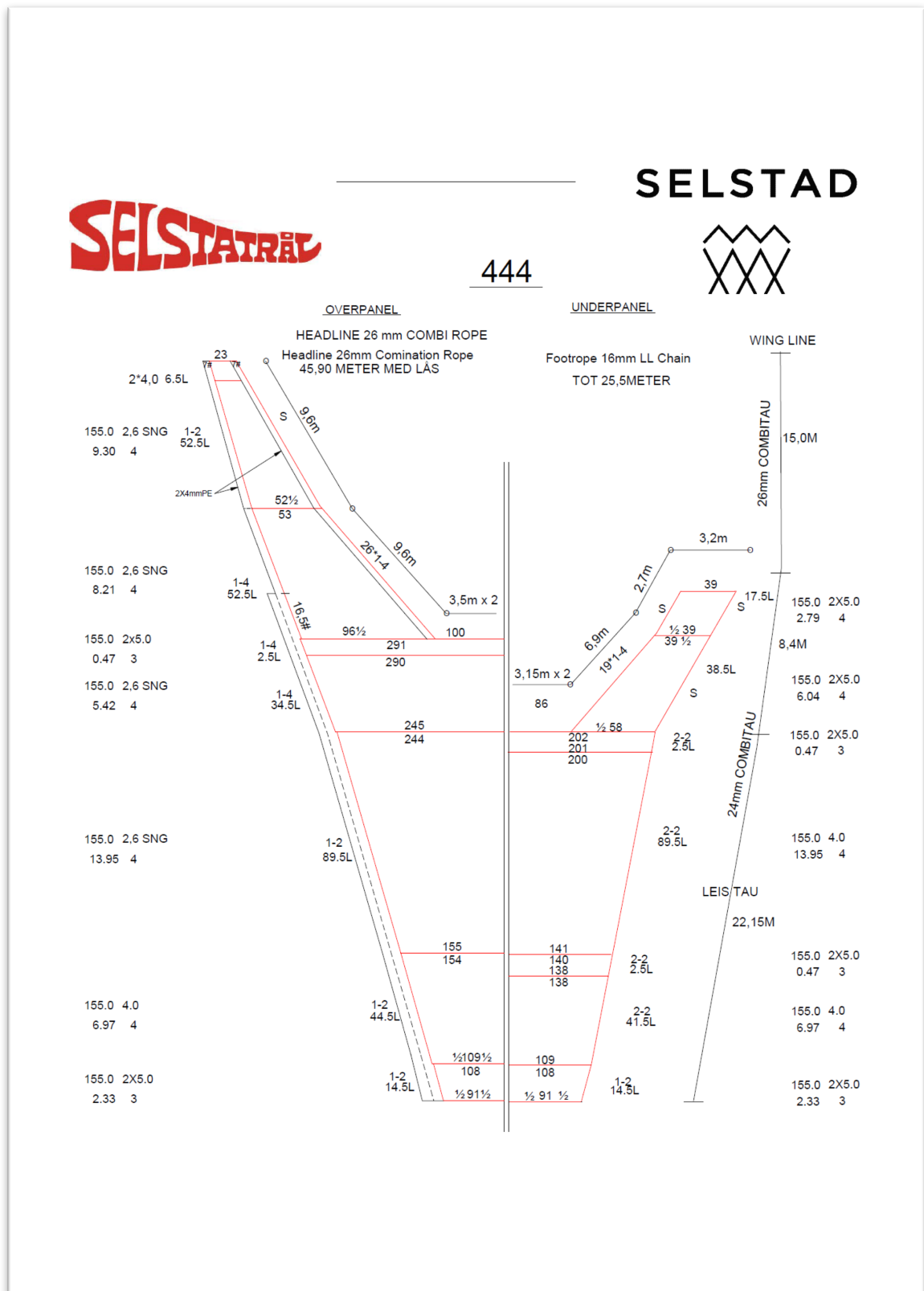
Trålnota blir satt sammen av mange nettstykker, som igjen består av masker (fig. 33 og 34). Om man studerer figur 34 ser man at nota er formet som en avlang sylinder som er størst i åpningen og smalner av mot enden av nota. På grunn av formen er det ikke mulig å sette sammen trålen av et nettstykke. Den er derfor satt sammen av flere nettstykker som blir utformet eller kuttet på grunnlag av tråltegningen (fig. 35). Etter kuttingen av panelene er ferdig, blir de «bøtet» og «lisset» sammen og former den ferdige nota (Karlsen, 1997).



Figur 33 Masker, del av et nettpanel (Technology, u.d.)



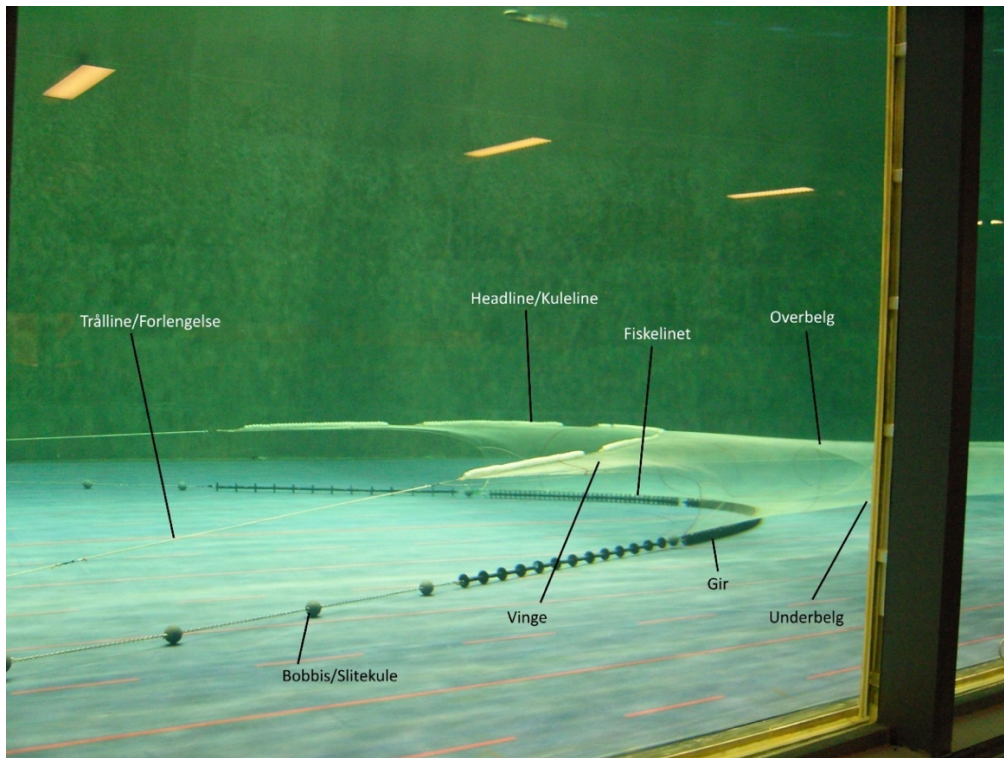
Figur 34 Eksempel på bunntål fra Scanmar AS (Scanmar, u.d.)



Figur 35 Eksempel på tråltegning av en kommersiell 444 trål, fra Selstad AS (Selstad, 2017)

8.2.2 Headline, vinge og fiskelinet

Trålnota består av flere viktige underdeler. Ved åpningen er det tre deler som er spesielt viktig: headline/kuleline, vinger og fiskelinet (fig. 36). Headlinen har som funksjon å løfte «taket» på trålen eller forhindre at åpningen skal lukke seg vertikalt. Headlinen er av den grunn utstyrt med flytekuler. Det er viktig å tilpasse headlinen med riktig antall kuler, ettersom den ikke skal løfte for mye eller for lite. Tråltegningene beskriver hvor mange kuler som skal være på. Det er også mulig å bruke hydrodynamiske «brett» eller «drager» i stedet for flytekuler, men dette er mindre vanlig på norske fartøy og er helt avhengig av tauefart for å være effektive. På sidene av trålåpningen befinner nettpanelene seg som også kalles for «vinger», disse er nødvendig for å forme fasongen på trålnota og for å kunne ta opp tauekreftene som oppstår bakover i nota (fig. 36). Trållinene eller «telnene» er wireforlengelser til vingene, og er festet i fremste del av vingen og ender i «sveipene» (fig. 36 og 34). Der blir tauekrefter overført videre fram til dørene og opp til fartøyet. Den nedre delen av trålåpningen kalles for fiskelinet, som er festet til «giret» (fig. 36). Fiskelinet har ofte høyere dimensjon på «linet» i forhold til resten av nota (utenom sekken). Dette kommer av at det er stor belastning fra giret og mye løft fra headlinen, samt at fiskelinet får slitasje fra sand, grus og mudder fra bunnen under tauing (slitasje forekommer ved bunntåling). Felles for alle delene er at de skal avlaste resten av nota fra tauekreftene og de er også med på å forme den nødvendige åpningen for at trålen skal fungere (Karlsen, 1997).



Figur 36 Bilde av bunnetrål fra en testtank, trålen er en kommersiell 444 trål fra Selstad (Selstad, 2017)

8.2.3 Giret

Giret er en svært viktig del av bunnetrålen. Det er laget av gummi og gamle dekk og er formet som runde hjul (fig. 36). Giret er festet i fiskelinet og strekker seg hele veien langs underdelen av trållåpningen (fig. 36). Hovedformålet er å sørge for at nettpanelene og fiskelinet som går langs bunnen ikke skal slites eller sette seg fast. Spesielt viktig er giret når det taukes over dårlig bunn (Karlsen, 1997). På flytetrål er det ikke noe gir, men ofte vil det være noen form for kjetting som hjelper til å holde den nedre delen av trållåpningen fra å bevege seg mot headlinen.

8.2.4 Belg og leis

Bak trållåpningen kommer belgen som består av en underbelg og en overbelg (fig. 36). Belgen er en rimelig simpel del av trålen og er i seg selv bare en forlengelse av nota bak til sekken. Belgen har fortsatt en viktig rolle og er med på å lede fisken bak mot sekken. Belgen er formet som en avlang kjegle, der bunnen av kjeglen eller den delen med størst omkrets er festet bak trållåpningen (fig. 34). Belgen består ofte av to eller fire nettpanel, dette avhenger av om trålen er en to- eller firepanelstrål, det mest vanlige er topanelstrål på bunnetrål, og firpanelstrål på flytetrål. Belgen vil da være lisset sammen på to eller fire steder i

lengderetning av trålen. Der panelene lisses sammen dannes det en «leis», hvor 2 – 5 masker er tatt inn fra hvert panel får å gjøre den sterkere. Sammen med «leisen» som går langs trålen er det vanlig å feste et kombinasjonstau, som består av wire og tau. Om kombinasjonstauet blir montert kortere enn «leisen» kan man påvirke formen på trålen, og maskene blir trukket sammen i lengderetning – Noe som fører til at de åpner seg bedre på tvers og man får en annerledes vanngjennomstrømning. Kombinasjonstauet er der mest til å forsterke nota og er sammen med «leisen» kalt skjelettet til trålen (Karlsen, 1997).

8.2.5 Sekk og sekkeforlengelse

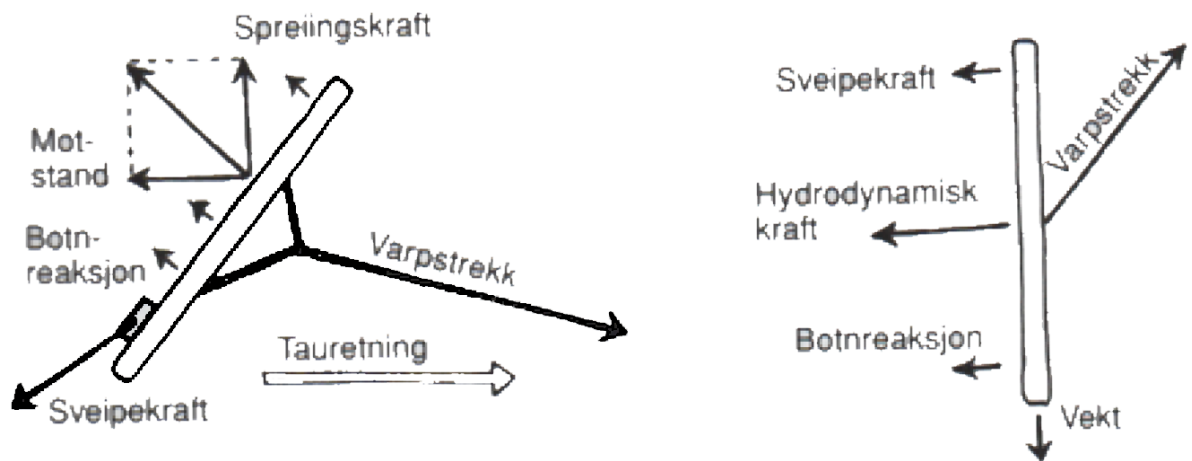
Videre bak belgen befinner sekkeforlengelse og sekken seg. Sekken og forlengelsen er den bakerste delen av selve trålnota og det er der fisken/fangsten samles til slutt. «Linnet» i sekken og forlengelsen er av mye høyere dimensjon enn de andre delene av noten, av den grunn holdes all fangsten i dette området. Spesielt tykt må dette linet være på fartøyer som drar sekken om bord via hekken. Det er ikke uvanlig på norske bunntålere med hal på opptil 30 tonn. På trålere i Alaska er det heller ikke uvanlig å dra hal med 200 tonn fisk om bord, som følge av det må sekkene og sekkeforlengelsen være av ekstrem styrke. På flytetrål ligger ofte sekken i sjøen og fisken pumpes om bord ved hjelp av spesielle hydraulikkpumper som festes på enden av sekken. Det vil da ikke være nødvendig med like sterkt lin, men det er også meget med press på disse sekkene da det forekommer fangster på over 800 tonn (fig. 37) (Vonin AS, u.d.).



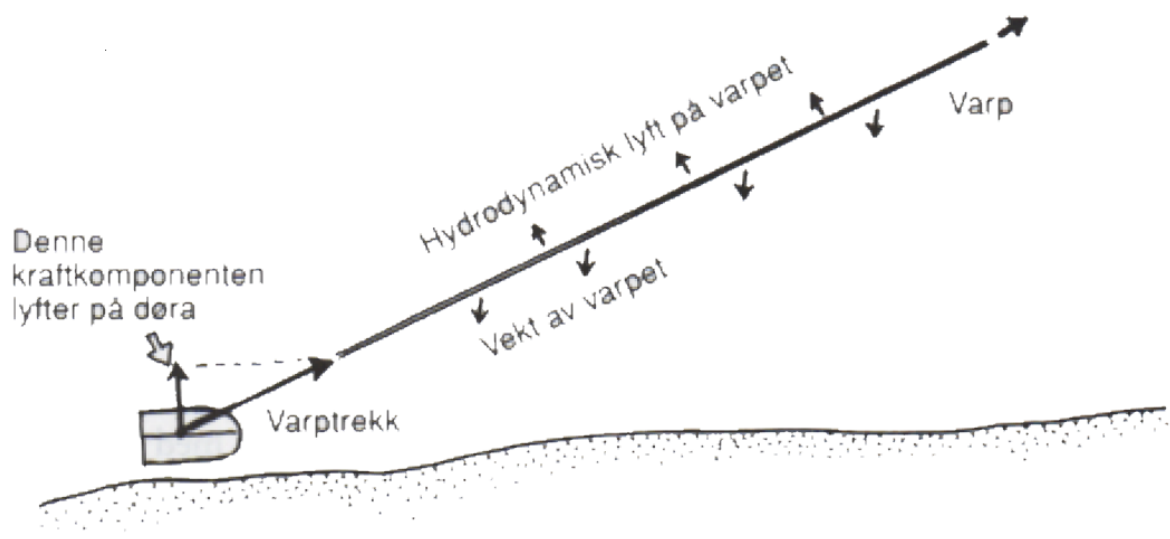
Figur 37 800 tonn kolmule i sekken, fanget av fartøyet Ruth (Vonin AS, u.d.)

8.2.6 Tråldører og varpet

Tråldørene er en av de mest sentrale delene som hører til trålen. Hovedoppgaven til tråldørene er å skape så store spredningskrefter at man får en tilstrekkelig avstand mellom dørene, og dermed en god horisontal åpning på trålen. Spredningskreftene må motvirke strekkraften både fra sveipene og forlengelsene mot vingene for at tråldørene skal klare å holde stabil avstand. Spredningskreftene blir hovedsakelig skapt hydrodynamisk fordi trykkreftene fra vannet presser dørene utover når de står i vinkel med vannstrømningen (fig. 38). Flytetråldører påvirkes kun hydrodynamisk på grunn av at de holdes oppe i vannmassene, mens dørene til bunntål også får sprikekrefter fra bunnsegmentet. Videre fra tråldørene og opp til fartøyet går «hovedwiren», også kalt «varpet». Under tauinga av trålen oppstår det krefter som prøver å løfte dørene, dette kommer fra motstanden av trålen og at «varpet» har en vinkel fra dørene nede i vannmassene og opp til fartøyet, og i tillegg til at vannmassene presser opp på wiren under tauing (fig. 39). På dypt vann vil vinkelen bli større, og dermed vil løftekraften økes. Tyngden på wiren og dørene vil da være nødvendig for å klare å holde trålen nede i vannmassene. Skal man tråle på dypt vann må man ut med mye wire for å få tilstrekkelig med tyngde (Karlsen, 1997).



Figur 38 Illustrasjon av kreftene som virker på tråldørene (Karlsen, 1997)



Figur 39 Illustrasjon av kreftene som «løfter» tråldørene (Karlsen, 1997)

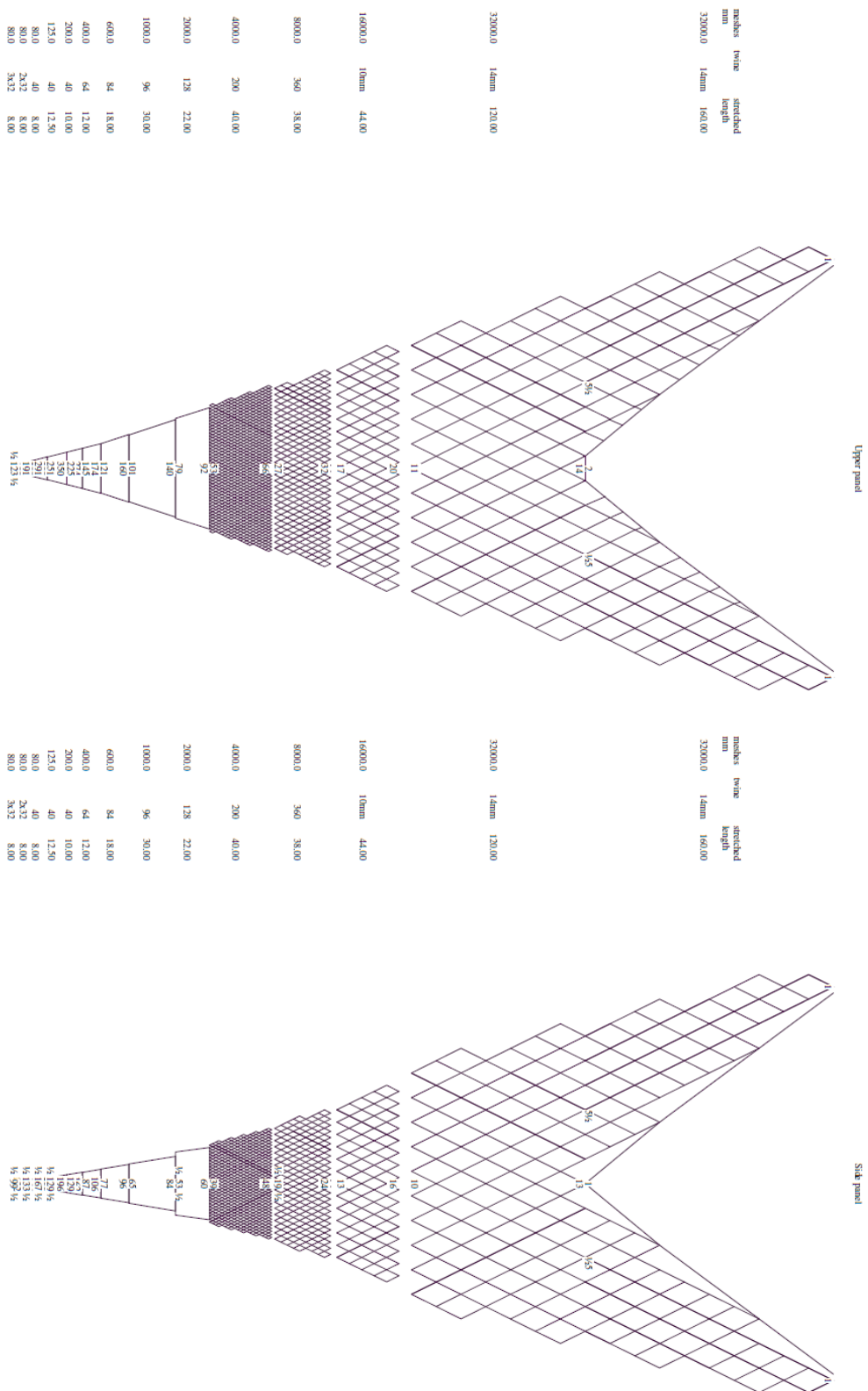
8.3 Flytetrålen

Flytetrålen og bunntrålen bygger mye på det samme prinsippet, men det er noen vesentlige forskjeller. Flytetrålen har for eksempel ikke et gir slik som bunntrålen har, og det er heller ikke nødvendig siden den ikke blir tauet langs bunnen som en bunntråd. Flytetråd er også stort sett mye større enn bunntråd. Det kommer av de store maskene som blir brukt i framparten av flytetrålen (Karlsen, 1997). De store maskene i forparten av trålen kan bli over 100 meter lange, og på grunn av de store maskene vil man kunne oppnå en meget stor trållåpning. Trållåpningen kan bli opptil 150 meter i vertikal- og 200 meter i horisontal utstrekning (Grimstad & Grimstad, 2017). I motsetning til bunntrålen som vanligvis er laget med to panel, er flytetrålen vanligvis en firepanelstråd. Sammen med de store maskene i forparten hjelper oppbygningen med fire panel på den vertikale åpningen. Den store maskestørrelsen vil også redusere tauemotstanden. Etter e-post korrespondanse med Selstad AS har gruppen fått tilsendt en tråltegning av en kommersiell kolmuletråd (flytetråd) som skal brukes til å illustrere og forklare oppbygningen av en flytetråd (fig. 40).

På figur 40 av kolmuletrålen vises det to hovedpanel (av totalt fire): et overpanel og et sidepanel. Underpanelet er identisk med overpanelet og sidepanelene er identiske. Det vil si at dette er en firepanelstråd. På tråltegningen står det også en beskrivelse av oppbygningen til hvert delpanel. Dersom man tar for seg den fremste seksjonen på overpanelet, er det oppgitt maskelengde på 32 000 mm (32 meter). Den beskriver også tautykkelsen som er brukt på maskene som er 14 mm. Lengden på den fremste seksjonen målt langs trålen er 160 meter og antall masker på tvers av seksjonen er 14. De bakerste panelene har masker helt nede i 80 mm, og har opptil 350 masker på tvers (Selstad, 2017).

Ut i fra tråltegningen kan man da skjære til panelet, for så å bøte/lisse sammen de forskjellige delpanelene.

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter



Figur 40 Tråltegning av kommersiell kolmuletrål fra Selstad AS (Selstad, 2017)

8.4 Fangstpotensial, sveipeeffekt og slepemotstand for trål

Med redskapet trål kan man regne ut et teoretisk fangstpotensial. Fangstpotensialet er proporsjonalt med det vannmassevolumet som siles gjennom trålen i det bestemte tidsrommet. Volumet med vann som siles gjennom trålen, kan regnes ut ved formelen:

$\text{Volum} = B \cdot H \cdot V \cdot T$ (forenklet formel)

B= Bredden på trållåpningen

H= Høyden på trållåpningen

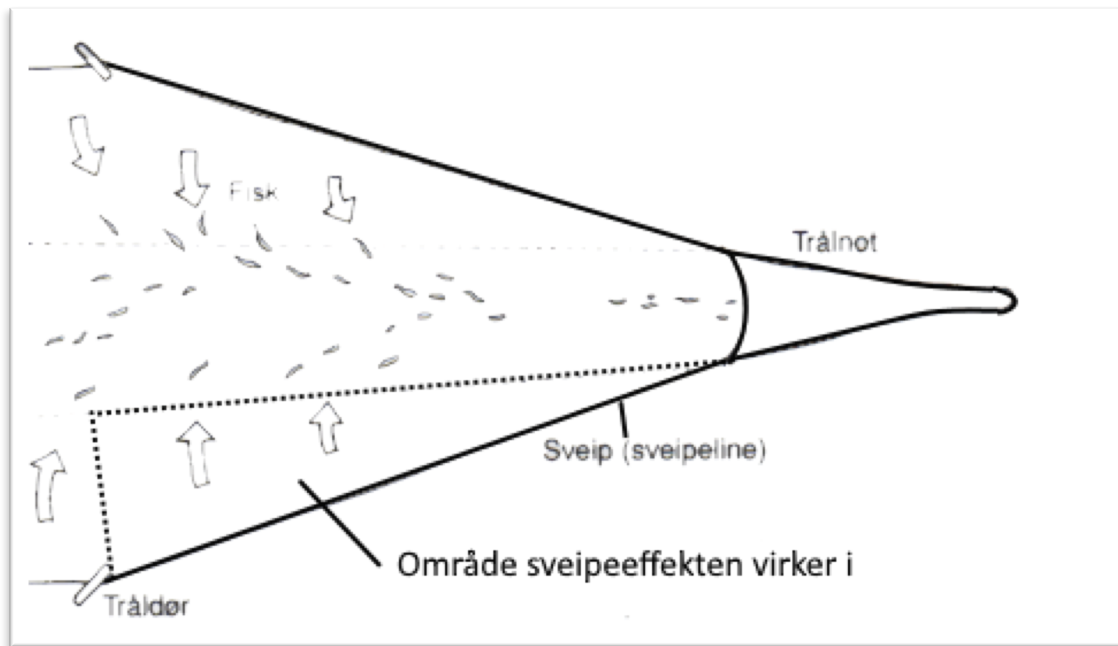
V= Tauehastigheten

T= Tauetid

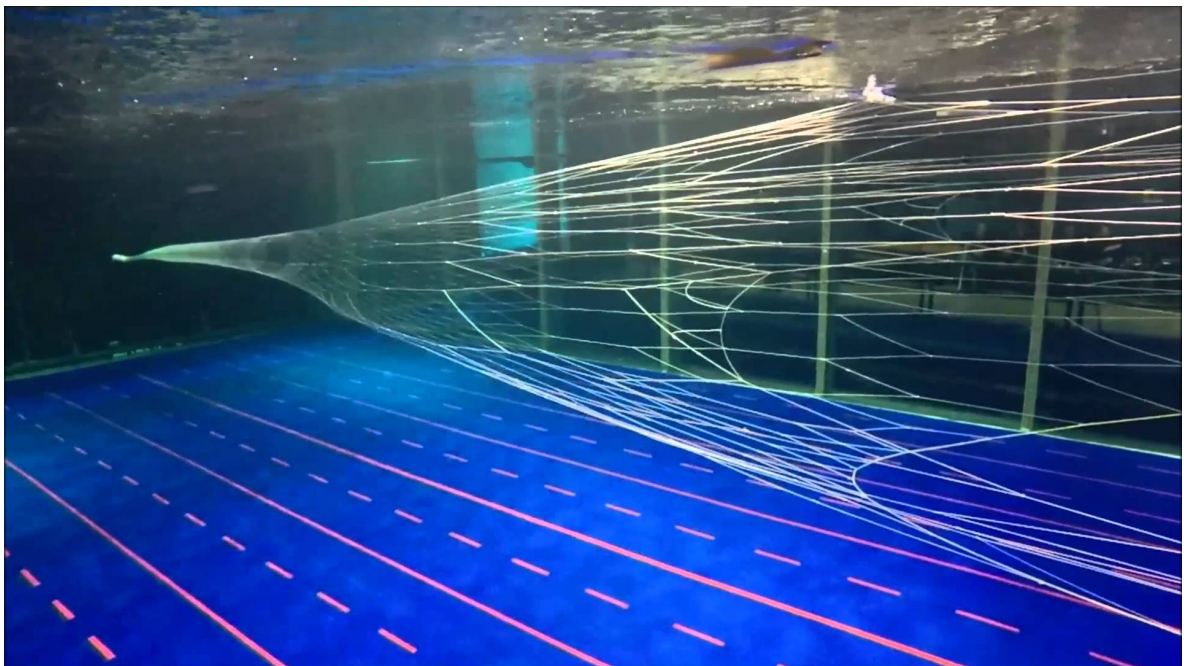
Formelen for arealet på trållåpningen ($\text{Areal} = B \cdot H$) vil være mer avansert da åpningen ikke har en kvadratisk/rektangulær form. Man har ved hjelp av disse formlene (volum og areal) mulighet for å regne ut hvor mye fisk som maksimalt kan siles inn i trålnota, dersom man har oversikt over tettheten av fisk i de vannmassene det fiskes i. Tettheten av fisk angir hvor mye fisk det er i vannmassene, som regel oppgitt i g/m^3 . For å videre kunne vurdere dette potensialet er det nødvendig å se på de faktorene som er med på å bestemme trållens fangsteffektivitet. Sveipevirkning er den største faktoren, og kan påvirke fangstpotensialet ganske mye. Fangstpotensialet er ikke bare begrenset til bredden og høyden på trållåpningen, men også området på begge sider av trålen som dekkes av sveipa mellom tråldøren og vingene (fig. 41). Grunnen til dette er at en del av fisken som befinner seg i dette området vil bli skremt innover mot trållåpningen av tråldørene og sveipelinene. Denne effekten er ikke begrenset til, men er av størst betydning for bunntrawl, ettersom bunnen avgrensar fiskens rømmingsmuligheter. Effekten vil likevel være relevant også for flytetrål, da forskjellige arter lar seg påvirke av sveipeeffekten i svært ulik grad. For eksempel ved bunntrawing etter reke, hvor sveipeeffekten er tilnærmet lik null. Dette kommer av at rekene har meget begrenset svømmehastighet og reagerer generelt mye mindre på støy fra sveipene og dørene enn hva fisk gjør. De vil da bli «forbikjørt» av sveipene på en trål som taues fort, selv om de svømmer mot trålbanens sentrum (fig. 41). Fangstforhold og fangstpotensial for flytetrål vil generelt sett være vanskeligere å regne ut enn for bunntrawing, ettersom flytetrålen taues høyere oppe i vannmassene og gir dermed fisken flere veier å rømme enn ved bunntrawing. Fisk som fiskes med flytetrål er ofte stimfisk eller fisk som står over store vannmasser, og er generelt i mer bevegelse enn bunnfisk. Det kan også gjøre det vanskelig å «treffe» fisken med trålen. Et annet viktig forhold ved flytetrål er at fisk som har kommet til trållåpningen ofte lar seg sveipe eller ledes av de store maskene i framparten av trålen. For

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

at dette skal fungere er den svært store åpningen på flytetrål avgjørende slik at fisken ikke skremmes av motstående nettpanel når den trekker unna den siden den er nærmest (Karlsen, 1997).



Figur 41 Man ser her området sveipeeffekten virker i (Karlsen, 1997)



Figur 42 Flytetrål i testtank (Isfjell, 2017)

På illustrasjonen av flytetrålen i en testtank (fig. 42) kan man se de store maskene i framparten av trålen. Disse vil lede og sveipe fisken inn mot trålens sentrum, men som nevnt tidligere er dette helt avhengig av artens oppførsel i forhold til den «skremmende» effekten som skapes av maskene (Karlsen, 1997).

8.4.1 Tauemotstand/slepemotstand

Tauemotstand er en kraft som oppstår når trålen blir tauet gjennom vann, og den oppstår på grunn av at materialene som trålen er laget av vil få en motstand ved bevegelse i vann. Slepemotstanden til trålen vil øke kraftig med tauetempoet, men motstanden vil ikke øke kvadratisk, noe som er vanlig for gjenstander som går gjennom vann. Grunnen til dette er at trålen endrer form ved økning eller bremsing av tauehastighet, og en økning av hastighet vil blant annet redusere høyden på den vertikale utstrekningen av åpningen, slik at arealet av trålen som virker på de hydrodynamiske kreftene blir redusert. Det er svært vanskelig å regne ut slepemotstanden som en funksjon av tauetempoet, og dette kommer av at det er vanskelig å fastsette størrelsen på trålen under taving, i tillegg til at den endrer form avhengig av tauetempoet. I praksis er den enkleste måten å måle motstanden direkte fra varpet eller sveipene, og dette utføres som oftest i småskala modelltanker. Ut ifra disse målingene kan man regne ut koeffisienter som brukes til å regne ut motstanden til en enkelt trålnot. Det vil alltid være noen avvik til den fullskala trålen, men det er en pekepinn på trålens virkelige slepemotstand (Karlsen, 1997). Videre kan slepemotstanden kobles direkte mot energiforbruket under fiske og dermed de totale drivstoffkostnadene.

8.4.2 Betydning av maskestørrelse og materialtetthet

Ved konstruksjon av en trål må man foreta et kompromiss mellom hensynet til slepemotstanden og de maskestørrelsene man velger, særlig i forparten og belgen på trålen. Dette kommer av at maskestørrelsen kombinert med trådtykkelsens er hovedfaktoren for slepemotstanden. I den bakre delen av trålen, sekken og sekkeforlengelsen, må maskestørrelsen tilpasses størrelsen på den fisken det tråles etter. I den fremre delen av trålen og belgen er ofte maskene større enn hva som fysisk er nødvendig for å stenge fisken inne. Dette er ofte tilfellet på grunn av at fisken i dette området ikke forsøker å gå gjennom nettpanelene i samme grad som i den bakre delen av trålen. At maskestørrelsen i forparten på trålen økes, vil videre bety minkende materialtetthet per flateenhet, noe som kan gi flere positive fordeler. Trålen vil bli billigere i innkjøp og lettere å håndtere, men den største fordelen er at slepemotstanden reduseres. Videre kan økt trålstørrelse forbedre trålens

fangstpotensial. Hvor store masker som kan benyttes i forparten, sammenlignet med maskestørrelsen som er benyttet på sekken, er avhengig av hvilken art det fiskes etter, tilstanden til arten, tauesituasjonen og forholdene ellers under fisket. Tråles det etter arter med lite eller ingen reaksjonsatferd, kan ikke maskestørrelsen økes så mye. F.eks. ved fiske etter reke (Ref. Kap. 8.4 *eksempel om sveipeeffekt/reketrål*) vil de store maskene i framparten av trålen på samme måte som sveipene «kjøre forbi» rekene (Karlsen, 1997).

8.5 Praktisk fiske, trålproblematikk og ombordtaking av fangst

Ettersom det er begrensninger i hva som er publisert om praktisk og kommersielt fiskeri av mesopelagisk fisk, og dets tilhørende fangstteknologi, vil dette delkapittelet hovedsakelig være basert på intervju med seniorforsker Eduardo Grimaldo ved SINTEF.

Det er per i dag 39 rederier som har mottatt prøvetillatelse for dette fisket. Br. Birkeland AS og Nordnes AS er de rederiene gruppen har vært i direkte og indirekte kontakt med. De er også de eneste rederiene som har fått innvilget en lengre periode med prøvefiske (5 år) (Grimstad & Grimstad, 2017). Gjennom intervju med seniorforsker Grimaldo, har gruppen fått en del informasjon om prøvefisket Br. Birkeland AS har drevet med, ettersom SINTEF har startet et prosjekt sammen med Br. Birkeland AS, hvor Grimaldo har deltatt. Siden det er Br. Birkeland AS som eier informasjonen i prosjektet, var det begrensninger i hva Grimaldo kunne utgi av informasjon. Gjennom prosjektet har og skal det utvikles en ny trål. Detaljer om den nye trålen som skal utvikles og ekkoloddet som ble brukt under første tokt, var det begrenset med tilgjengelig informasjon om. Av den informasjonen som ble presentert var det mye generell informasjon samt informasjon om målet med prosjektet. Prosjektet er delt opp i tre faser: Første fase av prosjektet «industriell utnyttelse av mesopelagisk fisk» var ressurskartlegging av hele området Reykjanes Ridge. Andre fase gikk ut på om det er mulig å fiske og fange denne fisken, hvor mye kan fanges per time, etc. Tredje fase var et produksjonsforsøk, hvor det ble tatt stilling til hvordan fisken kan utnyttes. Eksempelvis, hvordan skal fisken produseres? Hvilke produkter skal fisken brukes til? Fiskemel, fiskeolje eller menneskeføde?

8.5.1 Trålen som ble brukt under tokt

Trålen som ble brukt var en modifisert flytetral fra Egersund Group AS. Den var montert med et innernett, som ofte brukes til å samle fangsten og som består av svært små masker på ca. 10 mm. Maskene i de fremre seksjonene på trålen som var med på forsøket var på 24 meter og videre 12, 8, 4 og 2 meter, helt ned til der innernettet starter. Det ble også målt vanngjennomstrømning i trålen. Fartøyet tauet med en hastighet på 2 knop, og vanngjennomstrømningen i trålen ble målt til 1,3 knop. Gjennomstrømningen er ifølge Grimaldo høy nok til å få med seg fisken bak i sekken. Nordlig lysprikkfisk antas å ha en relativt begrenset svømmeevne. Grimaldo nevner også andre lysprikkarter som oppfører seg som partikler i vannmassene. Et videokamera ble plassert ved overgangen til de små maskene og man kan tydelig se hvordan mye av fisken blir ført ut av trålen med vanngjennomstrømningen som går ut gjennom maskene. *«Det er en ren filtreringsprosess»* - Med dette mener Grimaldo at det er bare panelene med små masker som fisker effektivt. Det spiller ingen rolle hvor stor trålen er, dersom maskene er for store. *«Jo større areal med små masker, jo mer skal man i teorien kunne fiske per tidsenhet»* (Grimaldo, 2017). Det er mistenkelig om lysprikkfisk i det hele tatt reagerer på støy av sveiper, dører og på de store maskene i framparten av trålen (Ref. Kap. 8.4). Seniorforsker Thor Klevjer ved Havforskningsinstituttet mener dette er et tema som er gjort for lite forskning på til å avgjøre om den rømmer eller skremmes inn mot trållåpningen (Klevjer, 2017). Etter et «mislykket» forsøk med den modifiserte flytetralen, hvor fangsten var begrenset til et maksimum på ca. 2 tonn, noe som var mye mindre enn hva de forventet å få, har SINTEF sammen med Egersund Group AS startet utviklingen på en «ny» trål. Som nevnt tidligere er det det private selskapet Br. Birkeland AS som står for finanseringen av prosjektet, og det er derfor begrenset med tilgjengelig informasjon om utviklingen av de nye trålene. Spesifikasjoner om maskestørrelse og mål på forskjellige deler var ikke mulig å få tilgang til, men Grimaldo delte informasjonen han fikk lov til å presentere.

8.5.2 Problematikk og utfordringer med en «mesopelagisk trål»

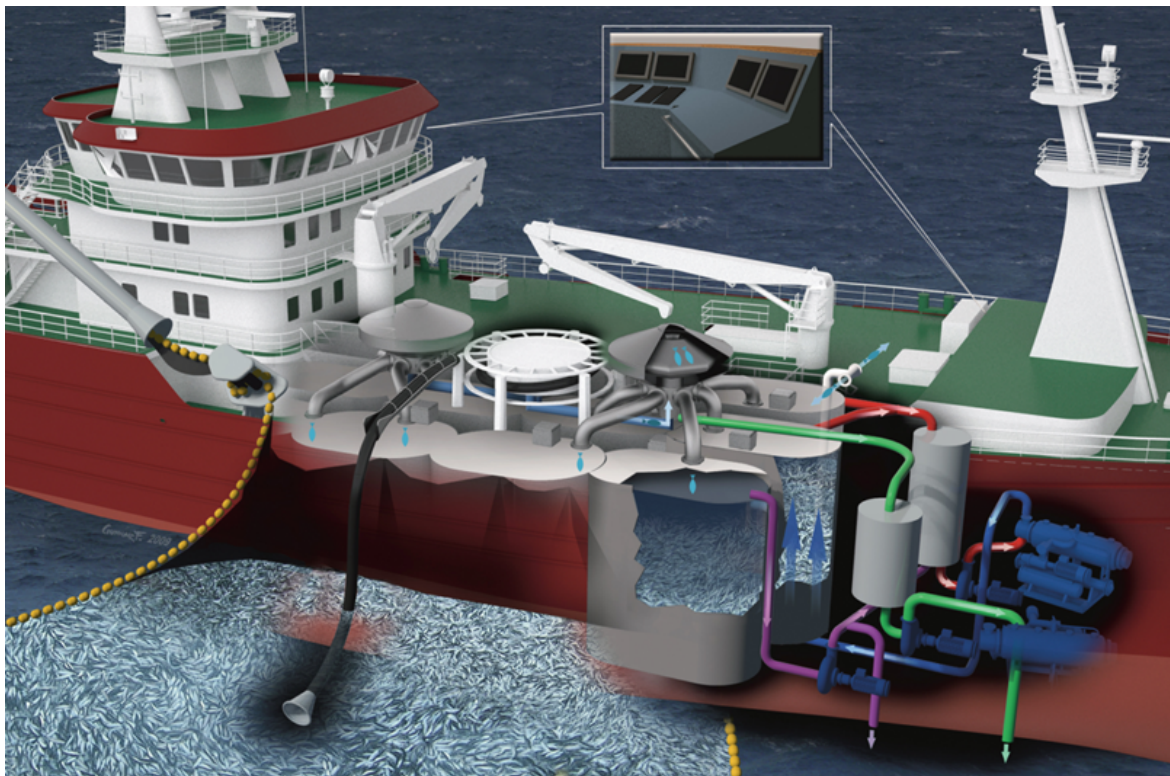
Til nå har SINTEF og Egersund Group AS utviklet to nye tråler i samarbeid med Br. Birkeland AS. Disse er prøvetauet først i testtank og etter hvert i full skala. Den første trålen som ble prøvetauet hadde et mye større areal med innernett enn trålen som var brukt under toktet ved Azorene. Den nye trålen har ca. 1000 m² med innernett. Det største problemet med trålen ble slepemotstad: Motstanden var på over 50 tonn, så trålen ble ekstremt tung å slepe. Før fullskala testen ble den testet i en testtank. I tankforsøket hadde de dører

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

tilsvarende 25 m² og 6 tonn i full skala. Slike dimensjoner gir dører som er meget tunge og store, og som ikke finnes på markedet i dag. Resultatet ble en altfor stor taumotstand. På trål nummer to ble det gjort en god del endringer: Det ble fjernet noen seksjoner og nettpanel. Åpningen og spredningen ble større i framparten av trålen samt belgen. Hovedpoenget var å få ned tauemotstanden. Åpningen i framparten av trålen er nå ca. 1400 m² og utgjorde en tauemotstand på 22 tonn, noe som fortsatt er veldig tungt. Trålen ble testet i Bergen, og det ble gjort en rekke målinger for å se på geometrien til trålen, samt vanngjennomstrømning, tauemotstand og «kledning» av maskene. Kledning av maskene vil si fisk som setter seg fast i maskene og vil føre til høyere tauemotstand. Kledning av maskene skjedde i stor grad, og resultatet av dette var at de ikke klarte å «åpne» trålåpningen. Det ble så stor motstand at de ikke klarte å spenne opp og åpne hele frontarealet. Tråldørene var altfor små, så en mye større spredningskraft vil være nødvendig. De forsøkte også å feste «drager» på headlinen og på siden av åpningen, men dette ble heller ingen optimal løsning. På trål nummer to ble det benyttet spectratau (vanligvis brukes nylontau). Spectratauet har mye høyere bruddstyrke enn nylon, noe som gjorde det mulig å redusere tykkelsen på tauet i forhold til den første trålen, som følgelig ville kunne senke slepemotstanden. Problemet med spectratau i denne sammenhengen er at det kun har 0 – 2 % elastisitet, noe som vil gjøre trålen veldig «statisk». Trålen er et redskap som strekkes og tøyes i mange retninger og har behov for å være elastisk. Til sammenligning har nylontau opptil 40 % elastisitet. Resultatet av dette var at trålen ikke tålte belastningen og den revnet på flere steder under prøvetauingen, som ble utført utenfor Bergen i «flatt hav». Siden ingen av trålene fungerte som planlagt, utvikler de nå en tredje trål. Den er ikke testet enda, men planen er at den skal være med på neste tokt (Grimaldo, 2017). Et annet problem som Grimaldo nevner er muligheten for at trykkbølgen/vanngjennomstrømningen vil presse lysprikkfisk gjennom sekken. Ettersom lysprikkfisk er svært skjør og tåler lite, vil man muligens kunne få problemer med å bygge opp mer enn f.eks. 5 tonn i sekken. Dette var et av problemene da SINTEF utførte prøvetråling etter store perifile maneter utenfor Trondheim. Målsetningen var å fange 5 tonn, men de fikk aldri mer enn 1,5 tonn i sekken. De plasserte da et kamera i trålsekken, og fant ut at det var trykkbølgen som presset manetene gjennom maskene, følgelig ville de aldri klare å bygge opp mer enn en viss mengde fangst. Om dette også er tilfelle med lysprikkfisk er usikkert, men Grimaldo frykter at det muligens kan være en potensiell årsak til de lave fangstverdiene (Grimaldo, 2017).

8.5.3 Ombordtaking av fangst

Fisken er som sagt tidligere svært skjør, og det antatte problemet der fangsten blir presset gjennom maskene i sekken ved tauing kan muligens også finnes igjen ved ombordtaking av fangsten. Under prøvefiske ved Azorene var det veldig mye av fisken som gikk gjennom maskene da de prøvde å løfte sekken om bord, fordi vekten av selve fisken ga høyt press på den fisken som var bakerst i sekken. Det vanlige ved pelagisk fiske er å pumpe fangsten om bord med en hydraulisk pumpe, men hadde man brukt en slik pumpe mistenker Grimaldo at store deler av fangsten kan gå til spille, dersom mye fisk blir «knust» i pumpeprosessen (fig. 43). Videre er det snakk om flere utfordringer som kan redusere eller ødelegge fangsten. Silkassen er et redskap som kan fordele fangsten til de forskjellige tankene om bord (fig. 43), men kan gi slag og brå bevegelser på det som blir pumpet om bord. Det er ikke uvanlig at noe fisk blir skadet under pumping og siling i dagens fiskeri (makrell, sild, kolmule etc.), men disse fiskeartene tåler mye mer enn lysprikkfisk. Grimaldo mener at både silkassen og pumpingen kan gi for store belastninger på denne type fisk (Grimaldo, 2017).



Figur 43 Pumping av fangst om bord (Vrimr, u.d.)

9 Avslutning

9.1 Drøfting

Ved oppstart av prosjektet fattet gruppen raskt stor interesse for det som så ut til å være en enorm uutnyttet ressurs, nemlig mesopelagisk fisk. En ressurs som potensielt kunne være en kilde for kommersiell utnyttelse av fiskeindustrien til fôr, oljer eller mat til mennesker. I starten trodde gruppens medlemmer at et fiske av mesopelagisk fisk var et relativt nytt tema, uten særlig grad av tidligere forskning, en oppfatning som til en viss grad endret seg etter hvert som gruppen begynte å lese i eldre forskningsrapporter hvor man ble opplyst om at deteksjon av mesopelagisk fisk kunne spores helt tilbake til andre verdenskrig, blant annet i form av «deep scattering layer». Selv om rapporter kan vise til en del tidligere forskning på området er et fiskeri av mesopelagisk fisk, typen lysprikkfisk og laksesild, per i dag ikke pågående foruten prøvofiske i forbindelse med forskning. Hvorfor er det slik at en ressurs så stor at den potensielt sett kunne tatt over oljeeventyret ikke blir utnyttet? Det er her utfordringene kommer inn i bildet. Gruppen har sett på en hel del ulike utfordringer som i noen grad også har blitt drøftet tidligere i oppgaven. De utfordringene som anses som de viktigste vil nå bli oppsummert.

9.1.1 Kvotering og miljøhensyn

Et av temaene gruppen har sett på dreier seg om kvotering og miljøhensyn. Hvordan skal en eventuell kvotesetting reguleres med fangst av mesopelagisk fisk? Dersom man ser på hvilke arter som er avhengige av mesopelagisk fisk for å opprettholde dagens bestander, herunder predatorer og byttedyr – er det eventuelt dyr som konkurrerer om samme næring? En kvoteregulering må baseres på slik kunnskap for å ivareta økosystemene på en best mulig måte, per dags dato er mye av dette ukjent. Hva med karbon eksporten fra mesopelagisk fisk som går fra de øvre vannmassene og nedover i det mesopelagiske sjiktet – Vil denne kunne påvirkes av et fiskeri? Dette vil i så tilfelle kunne ha innvirkning på hvor mye fisk som kan hentes ut, gjennom å endre den kjemiske sammensetningen og dermed muligens næringsproduksjonen på dypet.

9.1.2 Biomasse, horisontal fordeling og migrasjon

Hva med utbredelsen av mesopelagisk fisk – Er det virkelig så mye fisk som forskerne påstår at det er, eller kan det tenkes at estimatene påvirkes av feilkilder? Hva er egentlig det beste grunnlaget for å beregne biomasse-estimat? Trolig vil en kombinasjon av forskningsfiske (som gir kunnskap om artssammensetning, tetthet, svømmeblære osv.) med trål eller annet fangstredskap, sammen med akustiske målinger og kunnskap om lokal næringssammensetning, primærproduksjon og næringskjeder gi oss det beste mulige grunnlaget for å beregne biomasse.

Finnes det mesopelagisk fisk over hele verden, og i hvilke områder vil det være nok fisk til å drive et kommersielt fiskeri? – Estimatene for alle verdens hav er tross alt kun basert på data fra en svært liten del av havområdene. Disse lokale målingene er også kun utført i et begrenset tidsrom. Kan det tenkes at disse måleresultatene ikke nødvendigvis vil være like fra måned til måned eller år til år? Hva med sesongvariasjoner eller ulike migrasjonsmønstre? Vil fisken til enhver tid stå i tette konsentrasjoner som gir et klart og tydelig ekko på ekkoloddet, eller kan det tenkes at konsentrasjonene vil spre seg til forskjellige dybder i vannsøylen eller rett og slett migrere vekk fra området?

De mest attraktive områdene med de største biomasse-konsentrasjonene blir kalt «hotspots». Vil et så kalt «hotspot» fortsatt være et «hotspot» om én måned, om ett år eller om fem år? For å få en fullstendig kartlegging av fiskenes horisontale fordeling og migrasjon må man nok utføre en systematisk loggføring av forekomster. Med systematisk loggføring kan man kartlegge «hotspots», områder med mindre tetthet i tillegg til områder med mye bifangst. Ved en slik kartlegging over en gitt periode kan man også se endringene over tid og dermed kunne vite hvor biomassene befinner seg til enhver tid på året. Med utgangspunkt i dagens resultater fra biomassemåling vil det kunne se ut som et fiskeri vil være mest innbringende ved lavere breddegrader. Hovedgrunnen til dette kan være forskjellene mellom havområdenes eksogene faktorer som lys og temperatur. Omangulfen ansees å være et av de områdene som har den høyeste biomasse-konsentrasjonen i verden. Et spørsmål blir da om man kan oppnå de samme måleresultatene innen biomasse og artssammensetning i andre havområder med eksogene faktorer tilsvarende de i Omangulfen?

9.1.3 Vertikal fordeling og migrasjon

Den vertikale fordelingen og migrasjonen er basert på variasjoner i de eksogene faktorene mellom sesongene og døgnetts tidsperioder, i tillegg til fiskenes ontogenetiske utvikling. I hvilke sesonger og i hvilke tidsperioder av døgnet vil konsentrasjonen av fisk være størst?

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

Gruppens erfaringer etter analyser av diverse ekkoloddmålinger fra det nordiske havområdet er at det er størst konsentrasjoner av fisk i de sesongene med mindre dagslys, både på dagen og om natten. I områder hvor man har mer stabile lysforhold mellom sesongene ser konsentrasjonen av fisk ut til å være lik mellom sesongene og størst på dagtid når solen er oppe. Målingene er utført over korte tidsperioder og få sesonger, derfor anses dette som et for dårlig grunnlag til å basere en konklusjon på.

Hvilke ontogenetiske inndelte lag i vannsøylen vil det være mest attraktiv å fiske i? Som oftest er det gjerne de største fiskene innen for samme art som vil være de mest økonomisk innbringende og dermed de mest attraktive. Mesopelagisk fisk vokser med alderen, de største fiskene vil dermed være de eldste. Man regner med at større fisk befinner seg på et dypere lag i vannsøylen enn mindre fisk. Vil konsentrasjonen av de større fiskene være stor nok til å drive et effektivt og lønnsomt fiskeri? Med bakgrunn i analyser fra ekkoloddmålinger som tar for seg refleksjonslag ser det ut til at konsentrasjonene med større individer er betydelig mindre enn lagene med mindre individer som ligger høyere i vannsøylen. Gruppen antar med utgangspunkt i dette at det vil være mest innbringende å fiske etter de mindre fiskene som utgjør den største konsentrasjonen i vannsøylen. De mindre fiskene utfører som oftest DVM, (NDVM eller IDVM) noe man antar at de større fiskene ikke gjør (NoDVM). Dette er en faktor som også må medregnes for å finne de største og eksakte konsentrasjonene som i de mindre fiskenes tilfelle vil ha store forandringer i løpet av døgnet.

9.1.4 Anvendelsesområde

Krill er en art fra det mesopelagiske sjiktet som industrien har lyktes med å finne et anvendelsesområde for, noe som kan gi en indikasjon på at industrien også vil kunne finne et anvendelsesområde for mesopelagisk fisk, da med tanke på lysprikkfisk og laksesild. Kan fisken spises ubehandlet av mennesker eller vil den måtte prosesseres til fôr eller mel og olje? Mest sannsynlig vil nok de mesopelagiske fiskene måtte prosesseres før de kan benyttes, dette på grunn av forråtnelsesprosessen som starter når fisken kommer i kontakt med luft.

Resultat fra prøvofiske viser at det mesopelagiske havsjiktet kan by på litt av hvert – Med utgangspunkt i de enorme havområdene som finnes og den begrensede fangsten som blir tatt opp, kan det tenkes at alle de ulike artene som lever i det mesopelagiske sjiktet sannsynligvis enda ikke har blitt kartlagt. Kan det være mulig at «nye» arter med store næringspotensial vil bli funnet, eller kanskje «nye» arter som ikke er egnet for videre produksjon vil dukke

opp? Dersom nye arter dukker opp vil muligens noen av disse ha helt andre egenskaper enn de man har sett til nå.

9.1.5 Undervannsakustikk

Gruppen har tatt for seg en hel del utfordringer knyttet til undervannsakustikk. På dette området har det vært flere store teknologiske fremskritt, men fortsatt står man igjen med mange utfordringer. En av grunnene til disse utfordringene er selve mediet (vannet) som lyden skal gå gjennom. Å forutsi lydens utbredelse har gjennom tidene vist seg å være krevende. Mye usikkerhet og begrensninger er knyttet til dette emnet. Videre kan deteksjon og ikke minst identifikasjon være en utfordring. Ser man eksempelvis en lysprikkfisk eller en laksesild? Usikkerhet knyttet til størrelse på fiskens gassfylte svømmeblære, fiskens fysiske størrelse og adferd kan muligens føre til feiltolkning av ekkogram. Som nevnt vil en frekvensøkning kunne eliminere noen problem knyttet til resonans i tillegg til deteksjon av de individene som ikke har gassfylt svømmeblære – På den andre siden vil en økning i frekvens kunne by på nye utfordringer ettersom rekkevidden reduseres betraktelig ved økning i frekvens. Rekkevidden vil derav ikke være lang nok med skrogmontert utstyr som benytter høyere frekvens (> 200 kHz). Dersom man skulle senke ned en trykksterk svinger, hvordan vil dette mest mulig effektivt la seg gjøre under tråling? Hva må man ta hensyn til, og vil det kunne by på problemer når fartøyet gjør fart gjennom vannet? I tillegg er nedsenkbar akustikk i form av en «slepefisk» gjerne relativt dyrt – Hvis man tenker seg at nedsenkbar akustikk vil være nødvendig for å kunne optimalisere deteksjon og et godt fiskeri. Vil det være aktuelt for rederiene å investere i denne typen utstyr? Det holder heller ikke å bare ha det riktige utstyret, noe av det absolutt viktigste man står ovenfor angående akustisk utstyr er kalibrering og at datakvaliteten er fullt ut vitenskapelig. At utstyret viser riktige data og at feilmarginen er minst mulig vil være å foretrekke.

9.1.6 Fangstmetoder og utstyr

For å oppnå et effektivt og lønnsomt fiskeri av mesopelagisk fisk kreves det utvikling av et egnet redskap, gjerne en type trål – Hvilke utfordringer vil utvikling av en passende trål by på? Utviklingen av en egnet trål krever tilpasninger som design, maskestørrelse, trålens åpning og tråldører. I tillegg til en egnet trål vil man muligens også måtte gjøre tilpasninger av fartøy, slik at fangsten kan prosesseres om bord og fartøyet kan levere nok taukraft i forhold til trålens tauemotstand og hastighet. Hastigheten trålen må holde er blant annet avhengig av fiskens artsadferd, som hos de mesopelagiske fiskene fortsatt er en relativt

ukjent faktor. Hvordan oppfører fisken seg i forhold til redskapet (trålen)? Artsadferd er noe av det som forskes på i henhold til lysprikkfisk og laksesild, men en bestemt adferd kan foreløpig ikke med sikkerhet knyttes til den enkelte art. Kan det tenkes at også variasjoner i adferd kan finne sted med tanke på sesongvariasjoner eller migrasjon? Antageligvis må det mer kunnskap til om flere av disse faktorene for å kunne utvikle et egnet redskap.

Grunnet de mesopelagiske individenes små størrelser må redskapets maskestørrelse reduseres betraktelig i forhold til en konvensjonell pelagisk trål. Redusering av maskestørrelse fører til økning i tauemotstanden, som videre øker belastningen på fartøyet som tauer og dermed vil hastigheten reduseres og/eller drivstofforbruket øke. En løsning for å redusere tauemotstanden er å redusere trålens åpning og størrelse, men dette vil også føre til lavere potensiell fangstrate. Så hvor stor tauemotstand er akseptabel i forhold til forbruk og potensiell fangstrate som kan dekke utgifter som for eksempel lønn, drivstofforbruk og proviant? En tilnærmet beregning av dette vil nok være fartøysspesifikk. Muligheten for at en økning i fartøyenes størrelse må til for at trålens potensielle fangstrate skal være stor nok er ikke usannsynlig.

Når maskestørrelsen reduseres og tauemotstanden øker kreves det større hydrodynamisk spredningskraft hos tråldørene for å holde ønsket form på trålopningen. Må man da utvikle spesielle tråldører til dette fiskeriet? Dersom trålen skal være stor nok til å ivareta stor nok potensiell fangstrate må man mest sannsynlig utvikle større dører med stor hydrodynamisk kraft for å ivareta formen til den horisontale åpningen.

9.1.7 Ombordtaking

Mesopelagisk fisk er som nevnt tidligere veldig skjør. Ved tauing/ombordtaking vil de bakre/nedre fiskene kunne bli klemt mot trålnoten av vannets trykkbølge i tillegg til fangstens egenvekt og dermed kunne bli skadet og/eller ødelagt. Hvordan kan man unngå denne problemstillingen? En relativt vanlig form for ombordtaking på mindre fiskefartøy og forskningsfartøy er å løfte fangsten opp fra vannflaten i trålsekken, noe som øker presset på de nedre fiskene grunnet ingen oppdrift fra vannet. Man kan redusere fangstens egenvekt ved å redusere tauperiode og mengde fangst i trålen. Det gir da mindre fangst og potensielt mindre fortjeneste. Muligens må det utvikles et egnet pumpesystem for å pumpe fangsten skånsomt ut av trålsekken som ligger i vannet og inn på tankene. Gjerne et lignende systemet som brukes av de fleste ringnotsnurpere per i dag. Man unngår da å løfte trålsekken over vannflaten.

9.2 Konklusjon

På bakgrunn av gruppens arbeid med emnet, begrensninger i tilgjengelig informasjon og oppgavens begrensninger i omfang finner gruppen det vanskelig å kunne konkludere med at et kommersielt fiskeri etter mesopelagisk fisk av typen lysprikkfisk og laksesild hverken vil kunne la seg gjøre eller ikke. Dersom det skulle la seg gjøre er det per i dag vanskelig å si noe om når det eventuelt skulle bli mulig. Om det er innen 2, 5 eller 10 år har gruppen ikke et godt nok grunnlag til å uttale seg om. Det man vet er at ressursen er der og det forskes aktivt på området. Prøvefiske og satsing for å utvikle ny teknologi og øke kunnskapsnivået vil kunne være en avgjørende del på veien mot et potensielt kommersielt fiskeri av mesopelagiske fiskearter. Om et kommersielt fiskeri er mulig eller ikke vil tiden vise.

10 Bibliografi

Ackman, R. G., 1989. *Marine Biogenic Lipids, Fats and Oils*. Boca Raton(Florida): CRC Press Inc.

Åbro, A., 2011. *Svømmeblære*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/svømmeblære>
[Funnet 25 April 2017].

Barham, E. G., 1966. *Deep Scattering Layer Migration and Composition: Observations from a Diving Saucer*. [Internett]
Available at: http://www.seaturtle.org/PDF/Barham_1966_Science.pdf
[Funnet 28 Mars 2017].

Brierley, A. S., 2014. *Current Biology*. [Internett]
Available at: [http://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(14\)01067-7](http://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(14)01067-7)
[Funnet 23 Februar 2017].

Costa, F., u.d. *Pesce Lanterna Glaciale*. [Internett]
Available at:
<http://www.colapisci.it/PescItalia/pisces/myctophiformes/Mictofidae/pescelanternaglaciale.htm>
[Funnet 03 Mai 2017].

Dalpadado, P., Ellertsen, B., Melle, W. & Skjoldal, H. R., 1998. *Dalpadado1998 - Summer distribution patterns*, Bergen: Padmini Dalpadado.

Davidson, P., Lopez, A. L. & Koslow, J. A., 2015. *Mesopelagic fish biomass in the southern California current ecosystem*, San Diego: Scripps Institution of Oceanography, University of California.

Davison, P. C. C. D. M. K. J. A. & B. J., 2013. *Carbon export mediated by mesopelagic fishes in the northeast Pacific Ocean*. *Prog. Oceanogr.* 116, 14–30 (2013)., s.l.: s.n.

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

Davison, P. C., Koslow, J. A. & Kloser, R. J., 2015. *Acoustic biomass estimation of mesopelagic fish: backscattering from individuals, populations, and communities.*

[Internett]

Available at: <https://academic.oup.com/icesjms/article/72/5/1413/777115/Acoustic-biomass-estimation-of-mesopelagic-fish#13588273>

[Funnet 28 Mars 2017].

Deep Sea Conservation Coalition, u.d. [Internett]

Available at: <http://www.savethehighseas.org/aboutus/>

[Funnet 22 Februar 2017].

Dypvik, E., 2010. *Invers døgnvandring og fødebiologi hos nordlig lysprikkfisk i Masfjorden*, Oslo: Universitetet i Oslo.

Dypvik, E., 2012. *Seasonal variations in vertical migration of glacier lanternfish*, s.l.: The Autor(s).

Dypvik, E., Klevjer, T. A. & Kaartvedt, S., 2011. *Inverse vertical migration and feeding in glacier lanternfish (Benthosema glaciale)*, Bergen: The Author(s) 2011..

FAO, 2001. *Fisheries report No. 665 - Trilateral workshop on Lanternfish in the Gulf of Oman*, s.l.: s.n.

Fiskeslag, u.d. *Fiskeslag*. [Internett]

Available at: <http://fiskeslag.com/wp-content/uploads/2012/11/laksesild.jpg>

[Funnet 19 Februar 2017].

FN Food and Agriculture Organization, 2014. *FN Food and Agriculture Organization.*

[Internett]

Available at: <http://www.fao.org/3/a-i5555e.pdf>

[Funnet 10 Februar 2017].

Google-Maps, u.d. *Google Maps*. [Internett]

Available at: <https://www.google.no/maps/>

[Funnet 03 Mai 2017].

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

Grimaldo, E., 2017. *SINTEF AS* [Intervju] (Mandag .21 Mars 2017).

Grimstad, T. & Grimstad, M., 2017. *Nordnes AS* [Intervju] (26 April 2017).

Hauge, M., 2016. *Havforskningsinstituttet*. [Internett]

Available at:

http://www.imr.no/nyhetsarkiv/2016/november/mesopelagisk_fisk_er_sentral_i_biokonomien/nb-no

[Funnet 11 April 2017].

Havforskningsinstituttet, 2006. *Absolutt mengdemåling av fisk*. [Internett]

Available at: <http://www.imr.no/filarkiv/2004/02/SIP-sluttrapport-final.pdf/nb-no>

[Funnet 30 April 2017].

Holisticbiology, u.d. *DSL*. [Internett]

Available at:

http://holisticbiology.stanford.edu/images/Acoustic%20Layer%20Figure_.jpg

[Funnet 22 April 2017].

Irigoién, X. et al., 2014. *Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean*. [Internett]

Available at: <http://www.nature.com/articles/ncomms4271>

[Funnet 04 Mars 2017].

Isfjell, 2017. *www.isfjell.no*. [Internett]

Available at: https://i.ytimg.com/vi/ylyuu_SMhtAg/maxresdefault.jpg

J. Gjøsæter, K. K., 1980. *A review of the world resources of mesopelagic fish*, Roma: Food and agriculture organization of the united states.

Karlsen, L., 1997. *Redskapslære og fangstteknologi*. 1 red. Trondheim: Landbruksforlaget.

Kartmuseum, N., u.d. *Håndlodd*. [Internett]

Available at: <https://digitaltmuseum.no/011025251835/handlodd>

[Funnet 20 April 2017].

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

Kåss, E., 2015. *Store norske leksikon*. [Internett]

Available at: <https://sml.snl.no/eksogen>

[Funnet 15 April 2017].

Kjerstad, N., 2015. *Elektroniske og Akustiske Navigasjonssystemer*. 5. utgave red. Bergen: Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS.

Klevjer, T., 2017. *Mesopelagisk fiskeri - Havforskningsinstituttet* [Intervju] (17 Mars 2017).

Lamhauge, S. et al., 2008. *Fishery and utilisation of mesopelagic fishes and krill in the North Atlantic*, s.l.: s.n.

Meteorologisk-Institutt, 2009. www.metlex.met.no. [Internett]

Available at: <https://metlex.met.no/wiki/Salinitet>

[Funnet 03 Mars 2017].

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (USA), u.d.

oceanservice.noaa.gov. [Internett]

Available at: <http://oceanservice.noaa.gov/facts/upwelling.html>

[Funnet 25 Mars 2017].

Nofima, u.d. *CRISP*. [Internett]

Available at: <https://nofima.no/prosjekt/crisp/>

[Funnet 30 April 2017].

Ona, E., 2017. *Mesopelagisk Hydroakustikk* [Intervju] (5 April 2017).

Pethon, P., 2005. *Aschehougs store fiskebok*. 5 red. s.l.:H. Aschehoug & Co.

Phleger, C. F., 1998. *Buoyancy in Marine Fishes: Direct and Indirect Role of Lipids*.

[Internett]

Available at: [https://oup.silverchair-](https://oup.silverchair-cdn.com/oup/backfile/Content_public/Journal/az/38/2/10.1093/icb/38.2.321/2/38-2-321.pdf?Expires=1493378011&Signature=Vy0mZoLC7oor9KcNDi3aafOaDI0uTunqN56)

[cdn.com/oup/backfile/Content_public/Journal/az/38/2/10.1093/icb/38.2.321/2/38-2-](https://oup.silverchair-cdn.com/oup/backfile/Content_public/Journal/az/38/2/10.1093/icb/38.2.321/2/38-2-321.pdf?Expires=1493378011&Signature=Vy0mZoLC7oor9KcNDi3aafOaDI0uTunqN56)

[321.pdf?Expires=1493378011&Signature=Vy0mZoLC7oor9KcNDi3aafOaDI0uTunqN56](https://oup.silverchair-cdn.com/oup/backfile/Content_public/Journal/az/38/2/10.1093/icb/38.2.321/2/38-2-321.pdf?Expires=1493378011&Signature=Vy0mZoLC7oor9KcNDi3aafOaDI0uTunqN56)

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

[TAYMrfaQ8dYKVNXYxTUNk1nVjJfRCImXutEc8cz4BefK2bV0tGEqDIR80~iJPuPRB
C9Z-OAcq-08wsGvWu9eANpj9-srail9LoEOzBR0RTHWEZp7-
rbQHYYd1m9Dzow6lYqC2LEFp7HjCWyDmm2vaXZoFbQrKncHChsS-
kXK8kaOqz7xuHbwsABoQSU1gnxnTyUPo3ApHy96sHAyeldldFb-25MXHONGp-
ffK2o2E~Z68BaCxsFDbEFokJdFxTrg9dZWOqJ5YmzUHCQnbgs~4JHPvbQe8SydKuibe
0E~0WLCmY1fCOQ_&Key-Pair-Id=APKAIUCZBIA4LVPAVW3Q](https://www.researchgate.net/profile/Richard_Pieper/publication/243503315_Volume_scattering_strengths_and_zooplankton_distribution_at_acoustic_frequencies_between_05_and_3_MHz/links/5408cadb0cf2187a6a6de1b6/Volume-scattering-strengths-and-zooplankton-distribution-at-acoustic-frequencies-between-05-and-3-MHz.pdf)

[Funnet 12 Mars 2017].

Pieper, R. E. & Holliday, D. V., 1980. *Volume scattering strengths and zooplankton distributions at acoustic frequencies between 0.5 and 3 MHz*. [Internett]

Available at:

https://www.researchgate.net/profile/Richard_Pieper/publication/243503315_Volume_scattering_strengths_and_zooplankton_distribution_at_acoustic_frequencies_between_05_and_3_MHz/links/5408cadb0cf2187a6a6de1b6/Volume-scattering-strengths-and-zooplankton-distribution-at-acoustic-frequencies-between-05-and-3-MHz.pdf

[Funnet 10 Mars 2017].

Røstad, A., Kaartvedt, S. & Aksnes, D. L., 2016. *Deep-Sea Research I*, Thuwal, Oslo, Bergen: Elsevier.com.

Ryan, P., 2006. *Deep-sea creatures*. [Internett]

Available at: <http://www.teara.govt.nz/en/deep-sea-creatures>

[Funnet 20 Mars 2017].

Scanmar, u.d. *Scanmar*. [Internett]

Available at: <http://www.scanmar.no/no/pelagisk-fiske/>

[Funnet 13 Mai 2017].

Scanmar, u.d. *www.scanmar.no*. [Internett]

Available at: <http://www.scanmar.no/no/bunntal/>

[Funnet 24 April 2017].

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

Seafish, u.d. *Demersal trawl*. [Internett]

Available at: <http://www.cornwallgoodseafoodguide.org.uk/fishing-methods/demersal-trawl.php>

[Funnet 01 Mai 2017].

Selstad, 2017. *Trål* [Intervju] (27 Mars 2017).

Senet, S., 2016. *Euractiv.net*. [Internett]

Available at: <https://www.euractiv.com/section/agriculture-food/news/eu-ban-on-deep-sea-trawling/>

[Funnet 19 Februar 2017].

Simrad, u.d. *About Simrad's fishery sonars*. [Internett]

Available at:

<https://www.simrad.com/www/01/NOKBG0240.nsf/AllWeb/7B74D74E56B57A24C125718F00286926?OpenDocument>

[Funnet 15 April 2017].

Simrad, u.d. *EK60 Reference Manual*. [Internett]

Available at: http://www.simrad.net/ek60_ref_english/default.htm

[Funnet 01 April 2017].

Simrad, u.d. *Multifrekvens ekkolodd: Identifisering av ulike fiskearter med hjelp av Simrads vitenskapelige ekkolodd*. [Internett]

Available at:

<https://www.simrad.com/www/01/NOKBG0240.nsf/AllWeb/3443666C7F286E3AC125730C001D661E?OpenDocument>

[Funnet 03 Mai 2017].

Simrad, u.d. *Simrad EK60*. [Internett]

Available at:

[https://www.simrad.com/www/01/NOKBG0397.nsf/AllWeb/0C12D668D429B337C12571C4002CCFE1/\\$file/305045aa_ek60_multifrequency_operation_english.pdf](https://www.simrad.com/www/01/NOKBG0397.nsf/AllWeb/0C12D668D429B337C12571C4002CCFE1/$file/305045aa_ek60_multifrequency_operation_english.pdf)

[Funnet 03 Mai 2017].

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

Simrad, u.d. *Simrad WBAT*. [Internett]

Available at:

<https://www.simrad.com/www/01/nokbg0240.nsf/AllWeb/0A06830AD9807C03C1257E540019AF80?OpenDocument>

[Funnet 30 April 2017].

Simrad, u.d. *Svinger*. [Internett]

Available at:

<https://www.simrad.com/www/01/NOKBG0240.nsf/AllWeb/C286B71CD3C20828C12573950078BF22?OpenDocument>

[Funnet 21 April 2017].

Simrad, u.d. *SX90 Reference Manual*. [Internett]

Available at: http://www.simrad.net/sx90_ref_english/default.htm

[Funnet 01 April 2017].

Skolediskusjon, u.d. *Resonans*. [Internett]

Available at: <http://skolediskusjon.no/kompendier/fysikk/boelger/resonans>

[Funnet 03 Mars 2017].

Solheim, R. & Hjermann, D. Ø., 2011. *www.snl.no*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/predasjon>

[Funnet 08 April 2017].

Steffensen, J. F., 2006. *Svømmeblære*. [Internett]

Available at:

http://denstoredanske.dk/Naturen_i_Danmark/Havet/Havets_store_dyr/Fiskene_i_de_danske_farvande/Tilpasninger/Svømmeblære

[Funnet 25 April 2017].

Store Norske Leksikon, 2009. *Store Norske Leksikon*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/grakse>

[Funnet 24 Mars 2017].

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

Store Norske Leksikon, 2009. *Store Norske Leksikon*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/sonar>

[Funnet 10 Mars 2017].

Store Norske Leksikon, 2009. *Store Norske Leksikon*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/biomasse>

[Funnet 10 Mars 2017].

Store Norske Leksikon, 2012. *Resonans*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/resonans>

[Funnet 3 Mars 2017].

Store Norske Leksikon, 2013. *Store Norske Leksikon*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/konsesjon>

[Funnet 10 Mars 2017].

Store Norske Leksikon, 2015. [Internett]

Available at: <https://snl.no/virveldyr>

[Funnet 07 Mai 2017].

Store Norske Leksikon, 2015. *Store Norske Leksikon*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/dyreplankton>

[Funnet 10 Mars 2017].

Store Norske Leksikon, 2015. *Store Norske Leksikon*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/pelagisk>

[Funnet 10 Mars 2017].

Store Norske Leksikon, 2016. *Store Norske Leksikon*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/akvakultur>

[Funnet 10 Mars 2017].

Technology, B. W., u.d. *Bestfishingnet.com*. [Internett]

Available at: http://www.bestfishingnet.com/uploads/IMG_3596.jpg

[Funnet 09 Mars 2017].

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

The Blue Planet: A Natural History of The Oceans - «The Deep». 2001. [Film] Regissert av Alastair Fothergill. s.l.: s.n.

The Economist, 2017. *The Economist*. [Internett]

Available at: <http://www.economist.com/news/science-and-technology/21720618-one-least-understood-parts-sea-also-one-most-important>

[Funnet 07 Mai 2017].

Tremblay-Boyer, L. G. D. W. R. C. V. & P., 2011. *D. Modelling the effects of fishing on the biomass of the world's oceans from 1950–2006. Mar. Ecol. Prog. Ser. 442, 169–185 (2011).*, s.l.: s.n.

Tyler, J., 2017. *Sciencing*. [Internett]

Available at: <http://sciencing.com/oceanic-zone-8592007.html>

[Funnet 03 April 2017].

U.S. GLOBEC, 2002. *Global Ocean Ecosystems Dynamics*. [Internett]

Available at: http://nepglobec.bco-dmo.org/outreach/tas/technology_planktonnet.html

[Funnet 02 Februar 2017].

Vøllestad, A., 2012. *Laksesild*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/laksesild>

[Funnet 06 April 2017].

Vonin AS, u.d. [Internett]

Available at: [https://scontent.fsvg1-1.fna.fbcdn.net/v/t1.0-](https://scontent.fsvg1-1.fna.fbcdn.net/v/t1.0-9/18010436_752467141581042_3921562279037513117_n.jpg?oh=85a3184fb6c064b203746b644ff90d87&oe=59C037A1)

[9/18010436_752467141581042_3921562279037513117_n.jpg?oh=85a3184fb6c064b203746b644ff90d87&oe=59C037A1](https://scontent.fsvg1-1.fna.fbcdn.net/v/t1.0-9/18010436_752467141581042_3921562279037513117_n.jpg?oh=85a3184fb6c064b203746b644ff90d87&oe=59C037A1)

[Funnet 20 April 2017].

Vrimr, u.d. *www.vrimr.no*. [Internett]

Available at: <http://vrirm.no/wp-content/uploads/2012/09/MMC-Tendos11.png>

[Funnet 12 Mars 2017].

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

Williams, B., 2017. *<https://www.briangwilliams.us>*. [Internett]

Available at: <https://www.briangwilliams.us/marine-ecology/plankton.html>

[Funnet 04 Februar 2017].

11 Figurliste

Figur 1 <i>Fordeling av fiskeproduksjon i 2009. Utarbeidet av data fra FAO (FN Food and Agriculture Organization, 2014).</i>	2
Figur 2 <i>Fordeling av fiskeproduksjon i 2014. Utarbeidet av data fra FAO (FN Food and Agriculture Organization, 2014).</i>	2
Figur 3 <i>Mocness trål (U.S. GLOBEC, 2002)</i>	10
Figur 4 <i>Plankton trål av typen «Nansen closing net» (Williams, 2017)</i>	11
Figur 5 <i>Konvensjonell trål (Seafish, u.d.)</i>	12
Figur 6 <i>Ecotroph beregninger hentet fra rapporten «Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean» (Xabier Irigoien, 2014)</i>	15
Figur 7 <i>Det nordiske havområdet (Google-Maps, 2017)</i>	18
Figur 8 <i>Horisontal fordeling av laksesild (Mauroliticus muelleri) i nordiske havområder (Dalpadado, et al., 1998).</i>	19
Figur 9 <i>Badcock og Merrets forskningsekspedisjon rundt Azorene i 1977 (J. Gjørseter, 1980).</i>	20
Figur 10 <i>Det nordøstlige Atlanterhavet (Google-Maps, 2017)</i>	20
Figur 11 <i>Omangulfen (Google-Maps, 2017)</i>	21
Figur 12 <i>Nordøst i Stillehavet (Google-Maps, 2017)</i>	23
Figur 13 <i>Masfjorden, Norge (Google-Maps, 2017)</i>	24
Figur 14 <i>Laksesild (Fiskeslag, u.d.)</i>	26

Figur 15 Nordlig lysprikkfisk (<i>Benthoosema glaciale</i>) (Costa, u.d.)	27
Figur 16 Håndlodd med dybdemerker på linen (Kartmuseum, u.d.)	30
Figur17 Snurperen Ramoen (Simrad, u.d.)	31
Figur 18 Negativ gradient hvor lydstrålen bøyes nedover og man bommer på ønsket mål (fiskestim) (B), (A) illustrerer avtagende temperatur som funksjon av større dybde (Simrad, u.d.)	34
Figur 19 Positiv gradient hvor lydstrålen bøyes oppover og man bommer på ønsket mål (fiskestim) (B), (A) illustrerer økning i temperatur som funksjon av lavere dybde (Simrad, u.d.)	34
Figur 20 Man ser her et eksempel på reverbasjon. I situasjon (A) vil man kunne identifisere den øvre fiskestimen, mens den nedre stimen ligger i skygge fra steinen på havbunnen. I situasjon (B) vil man få inn flere svake ekko fra bølger i overflaten samt svake ekko fra steinen på havbunnen. Man vil likevel kunne detektere fiskestimen (Simrad, u.d.)	36
Figur 21 TVG Gain på tidspunkt (B) er større enn på (A). Man benytter funksjonen « $X \log R$ » for TVG verdier, hvor en høyere verdi for « X » vil gjøre strålebredden/vinkelen (C) bredere/brattere. Normalt sett benyttes funksjonen $20 \log R$, men for å øke deteksjon på lengre avstand kan man også benytte funksjonen $30 \log R / 40 \log R$ (Simrad, u.d.) (Simrad, u.d.)	37
Figur 22 Man ser her to eksempler på utformingen av en svinger, med forbehold om at utformingen ikke behøver å ha en rund form (Simrad, u.d.)	38
Figur 23 Ekkogram som illustrerer ekko fra Deep Scattering Layer sammen med ekko fra den reelle havbunnen samt overflaten. (Holisticbiology, u.d.)	43
Figur 24 Illustrasjon av svømmeblære. A) Plasseringen av svømmeblæren hos en typisk beinfisk. B) detaljer. Tegninger: Jørgen Strunge (Steffensen, 2006)	45

Figur 25 <i>Her ser man et eksempel på artsidentifikasjon med multifrekvens ekkolodd (Simrad EK60) ut fra forskjellene i akustisk respons/signatur hos to forskjellige arter (makrell (A) og krill (B)). (Simrad, u.d.)</i>	50
Figur 26 <i>Ekkogrammet illustrerer deteksjon av fisken alaskatheragra (år-0) (fra torskfamilien) og lodde (A) og voksen torskefisk (B) på en relativt lav frekvens (18 kHz). Man ser også deteksjon av torskefisk (år-0) og lodde (C) samt krill og alaskatheragra (voksen) (D) på en høyere frekvens (200 kHz). (Simrad, u.d.)</i>	50
Figur 27 <i>Ulike typer døgnlig vertikal migrasjon. (Bilde: Privat) (Dypvik, 2012)</i>	55
Figur 28 <i>NDVM (Bilde: Privat) (Dypvik, 2012)</i>	56
Figur 29 <i>IDVM (Bilde: Privat) (Dypvik, 2010)</i>	56
Figur 30 <i>NoDVM (Bilde: Privat) (Dypvik, 2012)</i>	57
Figur 31 <i>I perioden mars – september, er årstiden med de lengste lysperiodene. I denne perioden er NDVM den dominerende vandringen. I løpet av september begynner biomassene å tilbringe lengre tid høyere i vannsøylen. Man ser også at deler av biomassen begynner å endre type døgnvandring fra NDVM til NoDVM. Det betyr at store deler av biomassen holder seg ved en fast dybde i vannsøylen over hele mørkeperioden, (September – mars) (Dypvik, 2012)</i>	59
Figur 32 <i>Illustrativt eksempel av OVM basert på data fra Masfjorden. Eksempelet er kun representativt for området hvor målingene ble utført (Bilde: Privat) (Dypvik, 2012)</i>	60
Figur 33 <i>Masker, del av et nettpanel (Technology, u.d.)</i>	63
Figur 34 <i>Eksempel på bunntål fra Scanmar AS (Scanmar, u.d.)</i>	64
Figur 35 <i>Eksempel på tråltegning av en kommersiell 444 trål, fra Selstad AS (Selstad, 2017)</i>	65

Mesopelagisk fiskeri – utfordringer og muligheter

Figur 36 <i>Bilde av bunntrawl fra en testtank, trålen er en kommersiell 444 trål fra Selstad (Selstad, 2017)</i>	67
Figur 37 <i>800 tonn kolmule i sekken, fanget av fartøyet Ruth (Vonin AS, u.d.)</i>	69
Figur 38 <i>Illustrasjon av kreftene som virker på tråldørene (Karlsen, 1997)</i>	70
Figur 39 <i>Illustrasjon av kreftene som «løfter» tråldørene (Karlsen, 1997)</i>	70
Figur 40 <i>Tråltegning av kommersiell kolmuletrål fra Selstad AS (Selstad, 2017)</i>	72
Figur 41 <i>Man ser her området sveipeeffekten virker i (Karlsen, 1997)</i>	74
Figur 42 <i>Flytetrawl i testtank (Isfjell, u.d.)</i>	74
Figur 43 <i>Pumping av fangst om bord (Vrimr, u.d.)</i>	79